Material Akustik
Pengendali Kualitas Bunyi pada
Bangunan

Christina E. Mediastika, Ph. D

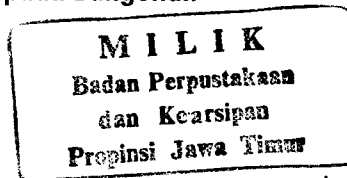
Material Akustik

Pengendali Kualitas Bunyi pada Bangunan

Christina E. Mediastika, Ph.D

Penerbit ANDI Yogyakarta

MATERIAL AKUSTIK Pengendali Kualitas Bunyi pada Bangunan
Oleh: Christina E. Mediastika

Editor : Fl. Sigit Suyantoro
Setting : Alek
Desain Cover : Dany
Korektor : Smartini / Aktor Sadewa

Penerbit: C.V ANDI OFFSET (Penerbit ANDI)
Jl. Beo 38-40, Telp. (0274) 561881 (Hunting), Fax. (0274) 588282 Yogyakarta 55281

Percetakan: ANDI OFFSET
Jl. Beo 38-40, Telp. (0274) 561881 (Hunting), Fax. (0274) 588282 Yogyakarta 55281

Perpustakaan Nasional: Katalog dalam Terbitan (KDT)

Mediastika, Christina E
MATERIAL AKUSTIK Pengendali Kualitas Bunyi pada Bangunan / Christina E. Mediastika; – **Ed. I**. – Yogyakarta: ANDI,
18 17 16 15 14 13 12 11 10 09
xxii + 136 hlm.; 19 x 23 Cm.
10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
ISBN: 978 – 979 – 29 – 0862 – 6
I. Judul
1. Architectural Acoustics

DDC'21 : 690.2

Untuk Titan, Dillan, dan Nunung yang telah mengasuhnya.

KATA PENGANTAR

Penggunaan kendaraan bermotor yang terus bertambah telah meningkatkan kebisingan di sekitar bangunan. Bunyi-bunyi pengganggu ini menyusup ke dalam bangunan sehingga menurunkan kualitas bunyi di dalam ruang-ruang yang membutuhkan ketenangan. Keadaan ini dapat diperbaiki dengan menerapkan rancangan bangunan yang memperhatikan aspek-aspek perambatan bunyi. Secara umum, penerapan rancangan ini meliputi tata letak ruang-ruang (*layout*) di dalam bangunan dan penggunaan material bangunan yang memiliki kemampuan akustik memadai atau disebut juga material akustik.

Istilah 'akustik' yang digunakan dalam buku ini merujuk pada pengaturan atau pengendalian bunyi. Dengan demikian istilah 'material akustik' dimaksudkan sebagai material bangunan yang sengaja digunakan pada bangunan untuk mengendalikan kualitas bunyi pada atau di dalam bangunan sebagaimana disyaratkan dan dikehendaki. Pengendalian kualitas bunyi pada bangunan dapat dilakukan dengan dua cara, yang keduanya diterapkan secara bersama-sama untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Pertama adalah peredaman atau pencegahan masuknya bunyi-bunyi dari luar bangunan yang tidak dikehendaki. Yang kedua adalah penyebaran bunyi-bunyi yang sengaja dimunculkan dalam ruangan secara merata dan jelas agar dapat dinikmati dengan lebih baik. Bunyi-bunyi luar ruangan yang tidak dikehendaki selanjutnya disebut sebagai kebisingan.

Aspek-aspek fisik yang memengaruhi kenyamanan penghuni dalam bangunan dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu udara, cahaya, dan bunyi. Ketiga aspek ini perlu mendapat perhatian agar kesehatan dan kenyamanan penghuni bangunan terjaga dengan baik.

Buku ini hanya akan membahas satu hal saja, yaitu aspek bunyi. Oleh karenanya, untuk mendapatkan pengetahuan yang lebih lengkap, pembaca disarankan untuk membaca buku-buku lain yang mengupas aspek kenyamanan dari faktor udara dan cahaya.

Pembahasan mengenai teori bunyi sebagai pengantar menuju topik utama dari buku ini disajikan secara sederhana, dengan maksud agar pembaca mendapatkan pengetahuan yang mencukupi untuk memahami inti buku, namun tidak dibuat bingung oleh teori-teori dan rumus-rumus yang rumit dan mendalam.

Untuk memudahkan pembaca memahami, buku ini dibagi menjadi dua bagian utama. Bagian pertama membahas pengendalian bunyi di luar bangunan, yang meliputi teknik-teknik perancangan dan contoh-contoh penerapannya. Selanjutnya, bagian kedua, membahas pengendalian bunyi di dalam ruang, teknik perancangan dan material akustik yang dapat dipilih. Bagi pembaca yang memerlukan pemahaman mengenai teori-teori dasar terjadinya bunyi dan aspek-aspek yang menyertainya, paparan pada awal Bagian I dan Bagian II diharapkan dapat membantu.

Buku ini dimaksudkan untuk dapat dibaca semua kalangan yang tertarik terhadap topik yang disajikan, tidak hanya pembaca dengan latar belakang ilmu tertentu yang terkait secara langsung dengan bunyi. Oleh karenanya buku ini sengaja ditulis menggunakan istilah-istilah yang populer dan dilengkapi dengan banyak gambar untuk lebih memudahkan pemahaman atas contoh-contoh solusi yang ditawarkan. Secara khusus buku ini juga diharapkan menjadi pelengkap atas buku-buku referensi mengenai akustika bangunan yang telah terbit sebelumnya.

Selamat membaca, semoga bermanfaat.

Yogyakarta, Maret 2009

Christina E. Mediastika

utami@mail.uajy.ac.id

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

Bab IV

BAGIAN I
PENGENDALIAN BUNYI DI LUAR BANGUNAN

Bab I **Bunyi**

Bab II **Kebisingan**

Bab III **Rancangan Elemen Bangunan untuk Peredaman Kebisingan**

BAB I
BUNYI

Dalam Bahasa Inggris dikenal istilah *sound.* Kata ini dalam Bahasa Indonesia disepadankan dengan kata *bunyi* atau *suara*. Namun kita menggunakan istilah bunyi sebagai acuan dalam buku ini dan bukan kata suara, mengingat *Kamus Besar Bahasa Indonesia* (KBBI) mendefinisikan kata *bunyi* dengan arti yang lebih luas. Bunyi adalah sesuatu yang didengar oleh telinga, dapat berasal dari benda apa saja, asalkan menghasilkan bunyi. Sementara istilah *suara* lebih cenderung diartikan sebagai bunyi yang keluar dari makhluk hidup, seperti manusia dan binatang, atau benda-benda yang lebih khusus.

1.1 Terjadinya Bunyi

Bunyi merupakan rangkaian perubahan tekanan yang terjadi secara cepat di udara. Perubahan tekanan ini disebabkan oleh adanya objek yang bergerak cepat atau bergetar, yang kemudian disebut sebagai sumber bunyi. Objek sumber bunyi dapat berupa zat (benda) padat atau udara. Baik pada objek padat maupun udara, untuk menjadi sumber bunyi, gerakan atau getarannya harus disertai dengan gerakan atau getaran objek lain, sehingga saling bersentuhan. Sebagai contoh, gerakan mangkok saja, tanpa ditingkahi gerakan sendok, tidak akan membuat kita mendengar penjual bakso menjajakan dagangannya. Gerakan lonceng tanpa disertai anak lonceng juga tidak akan menghasilkan bunyi. Sedangkan untuk objek udara kita dapat mengambil contoh, suara yang dihasilkan makhluk hidup, yaitu kerja sama antara getaran udara yang ada di kerongkongan dengan pita suara.

Sensasi bunyi, agar dapat didengar manusia, memerlukan tiga aspek yang harus ada dalam waktu bersamaan, yaitu:

1. sumber bunyi,
2. medium penghantar gelombang bunyi,
3. telinga dan saraf pendengaran yang sehat.

1.2 Perambatan Bunyi

Getaran objek yang menjadi sumber bunyi akan menyentuh atau menekan molekul-molekul udara yang ada di sekitarnya sehingga terjadi perubahan tekanan yang cepat di udara. Kejadian ini dapat disebut sebagai perambatan gelombang bunyi. Bila kita (lebih tepatnya telinga kita) berada dalam jarak tertentu dari sumber bunyi yang telah menghasilkan perambatan gelombang tadi, dan kekuatan gelombang bunyi masih mencukupi untuk menjangkau telinga kita, maka elemen-elemen pendengaran yang ada di dalam telinga akan menangkap dan mengolah gelombang tersebut sehingga kita mengalami peristiwa "mendengar". Melalui gambaran ini dapat kita asumsikan bahwa apabila salah satu dari ketiga faktor (sumber, medium dan telinga) tidak ada, maka sensasi "mendengar" juga tidak akan dirasakan. Ambil contoh pada manusia yang sedang menjelajah bulan yang permukaannya tidak dilapisi atmosfer, maka meski telinga tidak mengalami kerusakan dan terjadi benturan objek-objek di langit, namun karena tidak ada medium yang merambatkan gelombang bunyi dari sumbernya, maka peristiwa mendengar tidak terjadi. Peristiwa perambatan gelombang bunyi dapat diukur kecepatannya. Kecepatan rambat yang umum digunakan adalah 340 m/det, yaitu kecapatan rambat bunyi pada medium udara pada suhu berkisar 16°C (Tabel 1.1). Kecepatan ini sangat bergantung pada jenis/susunan medium perambatan sumber bunyi serta suhu medium tersebut. Oleh karena itu, untuk keadaan di Indonesia, dengan suhu rerata harian dan tahunan yang lebih tinggi, angka 340 m/det tidak selalu tepat untuk dipakai sebagai acuan. Bunyi merambat lebih cepat pada medium yang molekulnya lebih stabil dan pada suhu yang lebih tinggi. Kecepatan rambat gelombang bunyi ditentukan oleh frekuensi dan panjang gelombangnya.

$$v = f.\lambda \qquad (1)$$

Dengan v adalah kecepatan rambat gelombang bunyi (m/det)

f adalah frekuensi bunyi (Hz)

λ adalah panjang gelombang bunyi (m)

Oleh karena pada suatu lokasi tertentu kita gunakan nilai v yang tetap, sebagai contoh 340m/det, maka hal itu menunjukkan bahwa ketika suatu sumber bunyi memiliki frekuensi rendah maka panjang gelombangnya akan besar. Sebaliknya bila frekuensinya tinggi maka panjang gelombangnya menjadi kecil. Hal ini disebabkan karena nilai v yang tetap.

Tabel 1.1 Kecepatan rambat suara menurut medium rambatnya

Medium	Kecapatan Rambat Suara (*v*)
Udara pada temperatur -20°C	319,3 m/det
Udara pada temperatur 0°C	331,8 m/det
Udara pada temperatur 10°C	337,4 m/det
Udara pada temperatur 20°C	343,8 m/det
Udara pada temperatur 30°C	349,6 m/det
Gas O_2	316 m/det
Gas CO_2	259 m/det
Gas hidrogen	1284 m/det
Air murni	1437 m/det
Air laut	1541 m/det
Baja	6100 m/det

1.3 Energi

Karena bergerak/bergetar dan dapat merambat maka bunyi merupakan energi. Namun demikian, bahkan pada bunyi yang paling keras yang dapat didengar telinga manusia, energi yang muncul tidaklah terlalu besar. Jika tidak, maka setelah mendengar, telinga kita akan terasa panas! Sebagai contoh, energi suara manusia yang berteriak hanya berkisar 1 miliWatt dan mesin pesawat jet yang sangat keras hanya menghasilkan beberapa kiloWatt.

Energi yang ada pada sumber bunyi didefinisikan sebagai daya atau kekuatan sehingga diukur menggunakan satuan *watt* (W) atau jumlah energi yang dihasilkan setiap detik. Keterkaitan antara bunyi dengan energi yang dimilikinya cukup penting dipahami karena kita akan melihat bahwa energi bunyi (terutama yang tidak dikehendaki) dapat berubah menjadi kalor saat terjadi peristiwa penyerapan oleh bidang pembatas/penghalang. Hal ini akan dipaparkan lebih lanjut pada Bagian II.

1.4 Frekuensi

Ketika sumber bunyi bergetar maka getaran yang terjadi setiap detik disebut sebagai frekuensi dan diukur dalam satuan Hertz (Hz). Telinga manusia umumnya mampu mendengarkan bunyi pada jangkauan 20 Hz sebagai frekuensi terendah dan yang tertinggi 20000 Hz. Untuk memudahkan pemahaman, jangkauan frekuensi dari 20 Hz s/d 20000 Hz itu kemudian dikelompokkan menjadi frekuensi rendah, sedang dan tinggi. Telinga manusia sangat peka (sensitif) pada bunyi dengan frekuensi 1000 Hz s/d 5000 Hz, seperti yang muncul pada bunyi peluit atau lengkingan. Sementara itu telinga kurang peka pada bunyi berfrekuensi rendah.

Frekuensi menjadi bagian yang penting untuk dipahami oleh karena telinga manusia memiliki respons yang berbeda-beda untuk frekuensi tertentu. Demikian pula material akustik dan teknik-teknik perancangan untuk pengendalian bunyi yang akan dijumpai pada paparan selanjutnya memberikan perlakuan yang berbeda untuk tiap-tiap frekuensi bunyi.

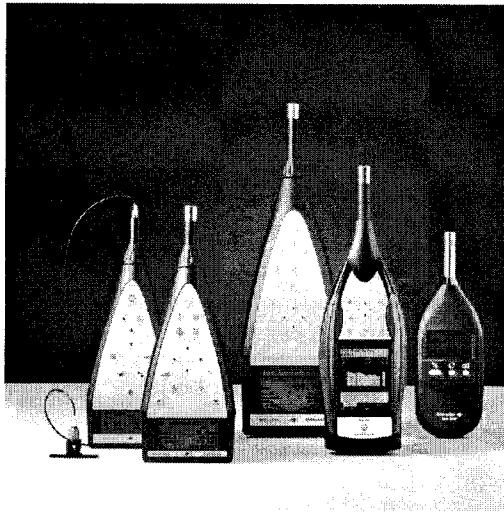
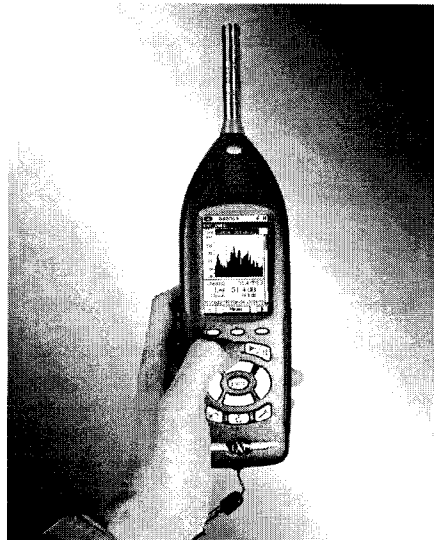
1.5 Desibel

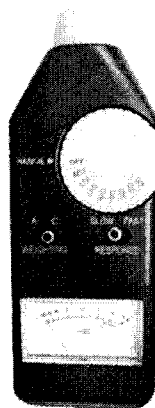
Kepekaan telinga yang tidak sama terhadap bunyi menyebabkan pengukuran tingkat keras bunyi menggunakan satuan desibel (dB dari deci Bell, diambil dari nama Alexander Graham Bell) menjadi lebih mudah, karena terdiri dari angka-angka yang lebih mudah dipahami (Tabel 1.2). Batas terbawah kemampuan telinga manusia dalam mendengar bunyi adalah 0 dB dan 140 dB sebagai batas tertinggi. Pengukuran bunyi menggunakan tingkat keras cenderung lebih sesuai dilakukan sebab sensasi yang secara nyata dirasakan telinga, lebih pada keras atau pelannya bunyi, sementara faktor frekuensi (yang antara lain menentukan jenis bunyi) adalah pertimbangan selanjutnya. Selain menggunakan satuan dB, dalam buku ini juga akan dijumpai satuan dBA, yaitu tingkat keras dalam dB mengacu pada bobot pengukuran A. Dalam hal ini dikenal bobot pengukuran A, B, C dan D, yaitu pengukuran kebisingan disertai respons telinga terhadap kelompok frekuensi tertentu. Bobot A merupakan bobot yang paling banyak diacu dan dijumpai sehari-hari, yaitu pada kondisi telinga merespons suara-suara berfrekuensi rendah.

Tabel 1.2 Tingkat keras bunyi dalam Pa dan dB

Sound Pressure **(Pa)**	***Sound Level*** **(dB)**	**Contoh Keadaan**
200	140	Ambang batas atas pendengaran
	130	Pesawat terbang tinggal landas
20	120	Diskotik yang amat gaduh
	110	Diskotik yang gaduh
2	100	Pabrik yang gaduh
	90	Kereta api berjalan
0,2	80	Pojok perempatan jalan
	70	Mesin penyedot debu umumnya
0,02	60	Percakapan dengan berteriak
0,002	30 s.d. 50	Percakapan normal
0,0002	20	Desa yang tenang, angin berdesir
0,00002	0 s.d. 10	Ambang batas bawah pendengaran

1.6 *Sound Level Meter*

Tingkat kekuatan atau keras/pelan bunyi diukur menggunakan alat yang disebut *Sound Level Meter* (SLM). Alat ini terdiri dari mikrofon, amplifier, *weighting network* dan layar penyaji dalam satuan dB. Adapun layar SLM dapat berupa layar dengan penunjuk berupa jarum atau layar digital. Ada pula SLM yang dilengkapi keduanya, sehingga pembacaan hasil menjadi lebih tepat. SLM sederhana hanya dapat mengukur tingkat kekerasan suara dalam satuan dB, sedangkan yang lebih canggih mampu menunjukkan frekuensi suara yang diukur. Beberapa contoh SLM dan penggunaannya disajikan pada Gambar 1.1 dan 1.2.

(a)

(b)

Gambar 1.1 a dan b. *Sound Level Meter* model digital dengan display angka dan grafik dari produsen peralatan akustik Bruel & Kjaer.

Gambar 1.1 c. *Sound Level Meter* model lama dengan penunjuk jarum.

Gambar 1.2 *Sound Level Meter* model digital dari produsen Ono Sokki sedang digunakan untuk mengukur kebisingan jalan raya.

1.7 Jarak Tempuh

Gelombang bunyi yang merambat dari sumber bunyi dan menempuh jarak tertentu akan menurun kekuatannya (bunyi terdengar lebih pelan) dan lama-kelamaan hilang, meski sesungguhnya ketika dikaitkan dengan energi yang dimilikinya, energi tersebut tidak hilang, tetapi berubah bentuk. Melemahnya energi yang dimiliki sumber bunyi disebabkan oleh karena energi yang sama harus merambat menyebar pada area yang lebih luas. Kita dapat mengasumsikan sumber bunyi sebagai sebuah objek yang berada bebas di udara, yang akan menyebar merambat ke segala arah sehingga area rambatannya akan berbentuk seperti bola. Dalam kenyataannya perjalanan gelombang bunyi itu akan mengalami hambatan oleh adanya bidang batas, apakah itu permukaan bumi, pepohonan, dinding bangunan, dll. Perilaku gelombang bunyi ketika mengenai bidang batas akan dibahas lebih mendalam pada awal Bagian II.

1.8 Getaran dan Resonansi

Bunyi dihasilkan oleh objek yang bergetar. Oleh sebab itu terjadinya bunyi tidak dapat dipisahkan dari getaran yang menyertainya. Gelombang yang panjang pada bunyi berfrekuensi rendah menyebabkan bunyi berfrekuensi rendah disertai dengan getaran yang lebih hebat dibanding bunyi berfrekuensi tinggi. Getaran hebat ini tidak dapat diabaikan karena sangat memungkinkan untuk menyebabkan terjadinya resonansi. Resonansi adalah peristiwa ikut bergetarnya objek lain selain sumber bunyi akibat getaran yang terjadi pada sumber bunyi. Resonansi dapat disebabkan oleh beberapa hal, yaitu:

1. kedua objek memiliki kesamaan rentang frekuensi,
2. tidak ada kesamaan frekuensi namun getaran sumber bunyi sangat kuat,
3. frekuensi tidak memiliki kesamaan namun jarak antara kedua objek sangat dekat,
4. frekuensi tidak memiliki kesamaan namun objek yang terkena imbas tidak terpasang permanen atau terlalu tipis.

Apabila penyebab terjadinya resonansi dapat diminimalkan, maka munculnya bunyi-bunyi pengganggu yang tidak dikehendaki dapat dikurangi.

1.9 Bunyi dan Kesehatan

Orang awam melihat kaitan antara bunyi dengan kesehatan manusia hanya sebatas soal telinga. Namun beberapa penelitian menunjukkan bahwa kemunculan bebunyian yang terus-menerus selain mengganggu telinga juga dapat menimbulkan dampak psikologis, seperti mudah marah dan mudah lelah (Nilsson, 1990). Sementara itu dampak fisik yang disebabkan bebunyian pengganggu terjadi secara langsung pada telinga, seperti ditunjukkan oleh penelitian Bulan Trisna, dkk (1995), dan Ratna A. Agustian (1995). Bulan Trisna dkk. menyampaikan bahwa mereka yang terpapar kebisingan mesin pabrik, karena bekerja terus-menerus tanpa menggunakan alat pelindung telinga, dimungkinkan untuk menderita bunyi dengung permanen di telinga (*tinitus*). Sementara Ratna A, Agustian mengemukakan bahwa paparan kebisingan terus-menerus di telinga dapat menyebabkan turunnya kemampuan mendengar bukan karena faktor usia. Pemerintah diharapkan dapat mengatur persoalan gangguan bunyi (atau yang selanjutnya disebut kebisingan) melalui perundangan yang mengikat, dengan sanksi yang dapat diberlakukan bagi yang melanggar. Sejauh ini peraturan yang dijadikan pedoman masih berupa saran-saran yang kurang mengikat yang tertuang dalam Per. MenKes 718/ MenKes/Per/XI/87 dan UU Bangunan Gedung 2002.

Dewasa ini nampaknya tingkat kesadaran masyarakat akan gangguan kebisingan telah meningkat. Hal itu tampak dengan munculnya keluhan-keluhan secara tertulis pada kolom opini di media massa cetak. Salah satunya dapat dicermati pada Gambar 1.3. Meningkatnya kesadaran ini idealnya disertai dengan mengalirnya informasi-informasi mengenai bagaimana seharusnya manusia melindungi diri dari bahaya kebisingan. Keluhan sebagaimana disajikan pada Gambar 1.3 semestinya tidak perlu terjadi bila pemilik atau pengelola studio menyadari bahwa bebunyian yang dihasilkan pada bangunan miliknya harus mendapat peredaman yang cukup. Melalui rancangan bangunan yang benar, gangguan kebisingan dapat diminimalkan.

Kebisingan yang diderita masyarakat tidak hanya berasal dari contoh yang dipaparkan sebelumnya, sebab ada sumber kebisingan lain yang lebih potensial menimbulkan ganguan, seperti kebisingan industri (pabrik) atau jalan raya. Bagi mereka yang terpapar langsung kebisingan mesin pabrik atau mesin kendaraan bermotor, seperti buruh pabrik atau polisi lalu lintas, peralatan pelindung yang mencukupi bagi indera pendengaran sudah selayaknya digunakan. Adapun jenis peralatan pelindung yang jamak digunakan adalah penutup telinga (*ear protection*).

Bagaimana dengan mereka yang tidak terpapar langsung kebisingan namun juga menderita kebisingan, karena kebisingan menyusup ke dalam bangunan? Penggunaan *ear protection* tentu kurang sesuai. Pada keadaan ini fungsi *ear protection* semestinya digantikan oleh selimut pelapis bangunan (*building envelope*) agar kebisingan yang menyusup ke dalam bangunan dapat diminimalkan.

Terganggu Suara Drum Studio Drummer Gilang Ramadhan

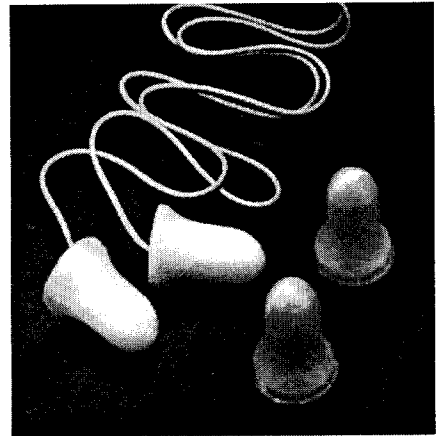
KAMI para anak kos di Jl Nogorojo No 9 B Yogya merasa sangat terganggu dengan suara tabuhan drum dari Studio Drummer Gilang Ramadhan yang terletak tepat di sebelah kos kami. Sebelum studio tersebut dibangun, pemilik kos memang sempat dimintai tanda tangan sebagai tanda setuju akan kehadiran studio tersebut. Namun tanda tangan tersebut diberikan dengan asumsi bahwa studio drummer dengan nama yang sudah terkenal tersebut pasti didukung dengan sistem akustik kedap suara yang memadai. Ternyata asumsi tersebut salah besar.

Pada kenyataannya, sekarang kami harus terganggu siang dan malam karena suara tabuhan drum yang sangat keras. Saat kami sarapan, istirahat siang, ataupun belajar dan melakukan aktivitas lain, kami sangat terganggu dengan polusi suara dari studio tersebut.

Pada tanggal 6 Oktober, kami sudah menyampaikan keluhan kami pada pihak studio. Pegawai di sana berjanji akan meneruskan keluhan tersebut pada pihak pengelola, namun nyatanya sampai sekarang belum ada perubahan apa-apa.

Kami, segenap anak kos, sangat berharap lewat surat pembaca ini, pihak studio terketuk hatinya atau setidaknya dibukakan akal sehatnya dan memerhatikan keluhan kami ini. Memang sah-sah saja mendirikan studio di mana pun, namun setidaknya pihak studio juga memerhatikan aspek-aspek penting supaya tidak mengganggu kenyamanan bersama. ❑ - **o**. (6969-2008).

Rosemary Kesauly, *Mewakili seluruh anak kos Nogorojo 9 B, Yogya.*

Gambar 1.3 Salah satu contoh keluhan masyarakat akan kebisingan di sekitarnya yang disampaikan melalui harian *Kedaulatan Rakyat,* Yogyakarta, 26 November 2008.

Gambar 1.4 Pelindung telinga dalam bentuk *headset* dan *earplug*.

BAB II
KEBISINGAN

Istilah *kebisingan* berasal dari kata *bising*, yang menurut *Kamus Besar Bahasa Indonesia* (KBBI) diartikan sebagai *ramai* atau *hiruk-pikuk* yang berasa di telinga seakan-akan pekak. Selama ini kebisingan dipilih sebagai sepadan dari kata *noise*. Penyepadanan ini tidak sepenuhnya tepat sebab dalam Bahasa Inggris *noise* diartikan sebagai *any unwanted sound* atau bunyi yang tidak dikehendaki. Istilah ini memiliki arti sangat luas, sebab bunyi yang tidak dikehendaki bagi tiap-tiap orang dapat berbeda, dan dapat bergantung pada keadaan, kebiasaan, latar belakang budaya, dll. Dalam *noise*, bunyi yang tidak berasa menimbulkan pekak telinga, bahkan yang sangat pelan sekalipun, misalnya tetesan air keran yang bocor, dapat menjadi bunyi yang tidak dikehendaki dan dianggap mengganggu oleh orang-orang yang sulit tidur. Oleh karenanya kebisingan tidak dapat disepadankan dengan nois (istilah yang diusulkan untuk disepadankan dengan *noise* ke dalam Bahasa Indonesia, Mediastika, 2005). *Noise* memiliki makna yang lebih luas sementara kebisingan maknanya lebih sempit. Kebisingan adalah bagian dari *noise*.

2.1 Kriteria Kebisingan

Kebisingan yang diartikan sebagai keramaian atau hiruk-pikuk yang berasa di telinga seakan-akan pekak perlu didefinisikan secara ilmiah ke dalam angka-angka, agar pembaca memperoleh persepsi yang sama. Sesuai Tabel 1.2, bila bunyi-bunyi yang dianggap normal adalah pada tingkat keras maksimal 50 dB, maka bebunyian yang tingkat kerasnya melebihi angka ini dapat dianggap sebagai kebisingan. Selain melalui tingkat keras, kebisingan juga dikaitkan dengan lama paparannya. Semakin keras tingkat bunyi, semakin pendek waktu paparan yang disarankan bagi telinga.

Tabel 2.1 SK. 405/Menkes RI/SK/XI/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja, Perkantoran dan Industri mengenai lama paparan kebisingan

Tingkat Keras (dB)	Lama Paparan Diijinkan/ Per Hari
82	16 jam
85	8 jam
88	4 jam
91	2 jam
97	1 jam
100	0,25 jam (15 Menit)

Kebisingan yang terjadi di sekitar kita dibedakan menjadi:

1. **Kebisingan latar belakang** adalah tingkat kebisingan yang terpapar terus-menerus pada suatu area, tanpa adanya sumber-sumber bunyi yang muncul secara signifikan.
2. **Kebisingan ambien** adalah total kebisingan yang terjadi pada suatu area, meliputi kebisingan latar belakang dan kebisingan lain yang muncul pada suatu waktu dengan tingkat keras melebihi tingkat keras kebisingan latar belakang dan merupakan hasil kompilasi kebisingan, baik yang sumbernya dekat maupun jauh.
3. **Kebisingan tetap** adalah tingkat kebisingan yang berubah-ubah dengan fluktuasi (naik-turun) maksimum 6 dB.

Kebisingan latar belakang umumnya dapat diterima tanpa menimbulkan gangguan yang berarti karena berada pada tingkat keras maksimum 40 dB. Bahkan pada suatu keadaan, keberadaan kebisingan latar belakang justru dibutuhkan agar suasana tidak terlalu lengang yang dapat menimbulkan kesan menakutkan atau mengurangi privasi seseorang. Sebagai contoh, dalam suasana malam yang sepi, kebisingan latar belakang berupa lalu-lalang kendaraan di kejauhan dapat menumbuhkan rasa tenang karena menggambarkan suasana dunia nyata. Atau pada sebuah rumah makan, sengaja diputar alunan musik lembut agar percapakan suatu kelompok tamu tidak mengganggu kelompok tamu lainnya.

Kebisingan ambien merupakan kebisingan yang perlu mendapat perhatian serius karena jenis kebisingan ini umumnya menimbulkan gangguan, terlebih bila sumber kebisingan yang

jaraknya dekat merupakan kebisingan tetap yang tingkat kerasnya melebihi 50 dB. Kebisingan ambien yang melebihi 60 dB akan menyebabkan percakapan atau komunikasi sulit dilakukan.

Setiap fungsi bangunan tertentu memiliki baku tingkat kebisingan yang dianut agar kenyamanan di dalam bangunan terjaga. Untuk Indonesia, baku tingkat kebisingan yang diacu masih berupa baku yang longgar dan belum ada sanksi berat bagi yang melanggar. Sementara itu di beberapa negara maju juga dikenal istilah *noise criteria* (NC) yang disarankan untuk fungsi-fungsi bangunan tertentu.

Tabel 2.2 Pembagian zona-zona peruntukan
(Per. Men. Kes No. 781/MenKes/Per/XI/87)

Zona	Peruntukan	Tingkat Kebisingan (dBA) Maksimum di dalam Bangunan	
		Dianjurkan	Diperbolehkan
A	Laboratorium, rumah sakit, panti perawatan	35	45
B	Rumah, sekolah, tempat rekreasi	45	55
C	Kantor, pertokoan	50	60
D	Industri, terminal, stasiun KA	60	70

Tabel 2.3 Rekomendasi nilai *Noise Criteria* (NC) pada fungsi ruang/bangunan tertentu (Egan, 1976)

Fungsi Bangunan/Ruang	Rekomendasi Nilai NC	Identik dengan Tingkat Kebisingan (dBA)
Ruang konser, opera, studio rekam, dan ruang lain dengan tingkat akustik sangat detil	NC 15 – NC 20	25 s.d. 30
Rumah sakit, ruang tidur/istirahat pada rumah tinggal, apartemen, motel, hotel, dan ruang lain untuk istirahat/tidur	NC 20 – NC 30	30 s.d. 40
Auditorium multifungsi, studio radio/televisi, ruang konferensi, dan ruang lain dengan tingkat akustik sangat baik	NC 20 – NC 30	30 s.d. 40

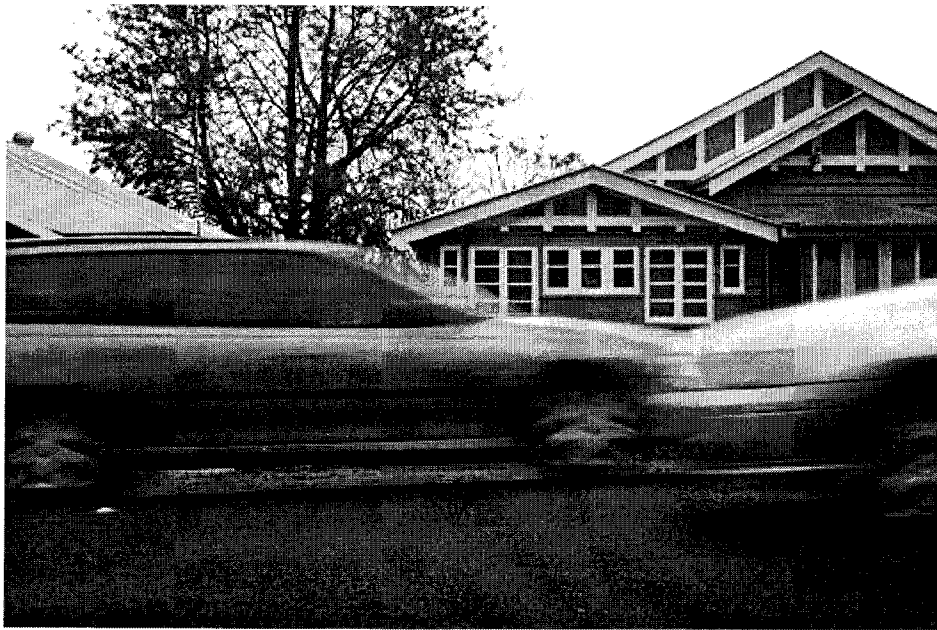
Fungsi Bangunan/Ruang	Rekomendasi Nilai NC	Identik dengan Tingkat Kebisingan (dBA)
Kantor, kelas, ruang baca, perpustakaan, dan ruang lain dengan tingkat akustik yang baik	NC 30 – NC 35	40 s.d. 45
Kantor dengan penggunaan ruang bersama, kafetaria, tempat olah raga, dan ruang lain dengan tingkat akustik yang cukup	NC 35 – NC 40	45 s.d. 50
Lobi, koridor, ruang bengkel kerja, dan ruang lain yang tidak memerlukan akustik cermat	NC 40 – NC 45	50 s.d. 55
Dapur, ruang cuci, garasi, pabrik, pertokoan	NC 45 – NC 55	55 s.d. 65

2.2 Kebisingan Jalan Raya

Dalam kehidupan sehari-hari ada banyak sumber kebisingan yang dianggap mengganggu, semisal deru kendaraan bermotor, kereta api, pesawat terbang, dan deru mesin pabrik dll. Dari semua sumber kebisingan yang disebutkan, kebisingan yang berasal dari kendaraan bermotor merupakan kebisingan yang mengganggu, bangunan oleh karena jalan selalu berdekatan dengan bangunan. Sumber kebisingan lain juga dapat menganggu bangunan, namun hanya secara terbatas dan hanya pada bangunan yang berada di dekatnya. Dalam buku ini hanya kebisingan yang berasal dari jalan atau kebisingan oleh kendaraan bermotor yang akan dikaitkan dengan usaha meningkatkan kualitas bunyi di dalam ruang.

Di negara berkembang seperti Indonesia, yang pengaturan dan penyediaan kendaraan umum belum tertata secara baik, masyarakat akan cenderung menggunakan kendaraan pribadi untuk mendukung kegiatannya. Berdasar kecepatan dan kenyamanan berkendara maka kendaraan bermotor pribadi lebih dipilih dibanding kendaraan tidak bermotor. Meski kini kelompok-kelompok masyarakat pengguna sepeda telah terbentuk, seperti *Bike to Work*, namun jumlah anggotanya masih sedikit. Di waktu mendatang diharapkan pengguna sepeda terus meningkat jumlahnya sehingga dapat menurunkan polusi udara dan bunyi. Hal itu juga perlu didukung dengan penyediaan jalur khusus sepeda agar keselamatan dan kenyamanan pengguna sepeda diperoleh.

Kebisingan pada kendaraan bemotor terutama bersumber pada mesin dan saluran gas buang. Juga terdapat sumber lain meski bukan sumber pokok, yaitu gesekan roda dengan jalan dan klakson. Pada kendaraan bermotor dengan usia pembuatan 10 tahun ke bawah serta yang

mesinnya terawat dengan baik, kebisingan yang dihasilkan mesin dapat dianggap sesuai baku. Hal lain yang memengaruhi kebisingan adalah jumlah kendaraan yang melalui suatu kelas jalan tertentu. Bila jumlah dan jenis kendaraan sesuai baku maka munculnya kebisingan dapat dihindari. Namun pada kenyataannya hal ini tidak terpenuhi. Ruas jalan dipenuhi kendaraan melebihi kemampuan hingga terjadi kemacetan. Keadaan ini tentu menimbulkan polusi udara dan bunyi. Singkatnya, kebisingan yang ditimbulkan oleh kendaraan bermotor yang selanjutnya dapat mengganggu kenyamanan di dalam bangunan hanya terjadi bila jenis kendaraan bermotor yang digunakan dan jumlahnya melebihi baku yang ditetapkan.

Gambar 2.1 Bangunan sederhana yang berada langsung di tepi jalan dengan kesibukan dan kepadatan lalu lintas tinggi amat potensial menderita kebisingan.

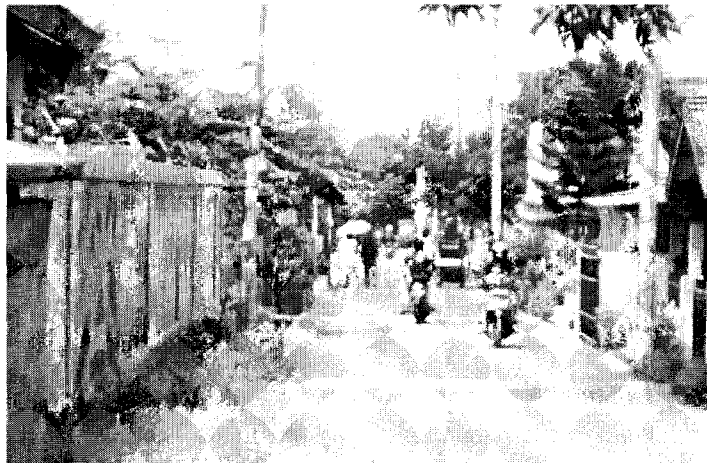
BAB III
RANCANGAN ELEMEN BANGUNAN UNTUK PEREDAMAN KEBISINGAN

Bagi mereka yang berkegiatan di dalam bangunan, selimut bangunan merupakan elemen bangunan yang diharapkan mampu memberikan perlindungan maksimal terhadap menyusupnya kebisingan jalan raya. Untuk dapat menjadi pelindung yang ideal, selimut bangunan perlu dirancang secara khusus dengan memerhatikan perilaku perambatan gelombang bunyi. Pendekatan ini mungkin dapat mengurangi pertimbangan aspek estetika. Namun tidak demikian dengan ulasan dalam buku ini. Di sini aspek estetika tetap dikemukakan sebagai bahan pertimbangan.

3.1 Pemilihan Site

Aspek pemilihan site merupakan hal yang signifikan untuk dipertimbangkan agar perlindungan terhadap kebisingan dapat diperoleh secara maksimal. Jika memungkinkan, keadaan-keadaan seperti tersebut di bawah ini sebaiknya dihindari.

1. **Site yang terletak di tepi jalan menanjak/menurun**
   Kemiringan jalan berpengaruh terhadap tingkat kebisingan yang dihasilkan kendaraan yang melewatinya. Site yang berada di tepi jalan menanjak atau turunan akan menerima kebisingan yang lebih besar dibanding jalan mendatar. Untuk dapat menaiki tanjakan, kendaraan menggunakan persneling kecil dengan menekan kuat pedal gas sehingga menghasilkan putaran mesin hebat. Juga terjadi gesekan yang lebih besar antara roda dengan jalan ketika kendaraan diperlambat saat menuruni jalan. Dua keadaan ini menimbulkan kebisingan yang lebih tinggi.

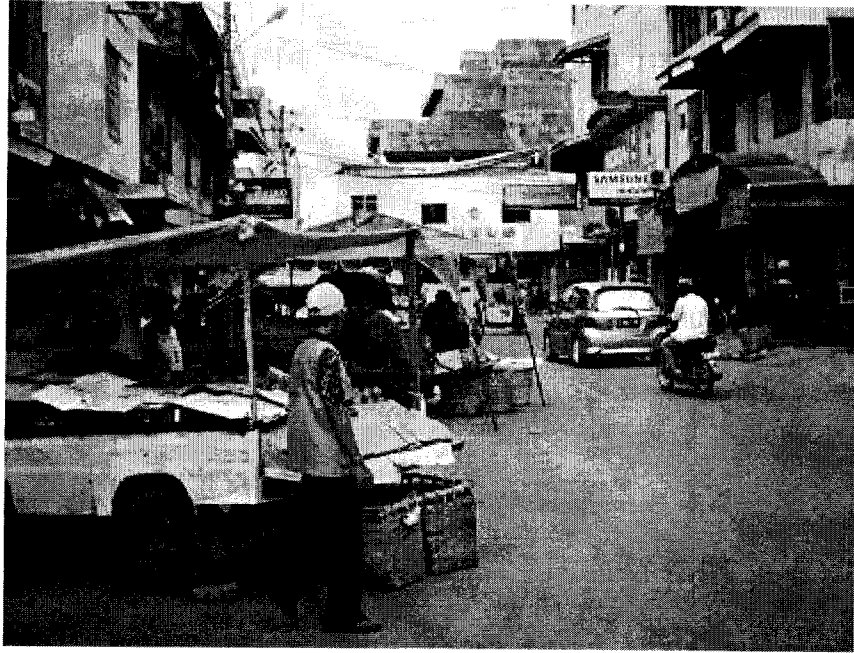
Gambar 3.1 Site di tepi jalan menanjak/menurun sebaiknya dihindari.

Gambar 3.2 Site yang memiliki banyak polisi tidur juga sebaiknya dihindari.

2. **Site yang terletak di tepi jalan rusak**
   Jalan rusak, bergelombang atau berlubang-lubang akan menyebabkan kendaraan melaju lebih lambat namun tetap menjaga injakan pada pedal gas agar mesin kendaraan tidak mati mendadak. Keadaan ini menimbulkan kebisingan yang lebih tinggi dan durasi keberadaan kendaraan di depan bangunan menjadi lebih lama. Site yang terletak berdekatan dengan gundukan perlambatan (sering disebut sebagai polisi tidur), juga sebaiknya dihindari. Untuk melewati gundukan perlambatan dengan nyaman, pedal rem perlu ditekan (gesekan roda

dengan jalan meningkat) selanjutnya berganti menekan pedal gas untuk melewatinya. Keadaan ini menimbulkan kebisingan yang luar biasa bagi bangunan di tepi jalan.

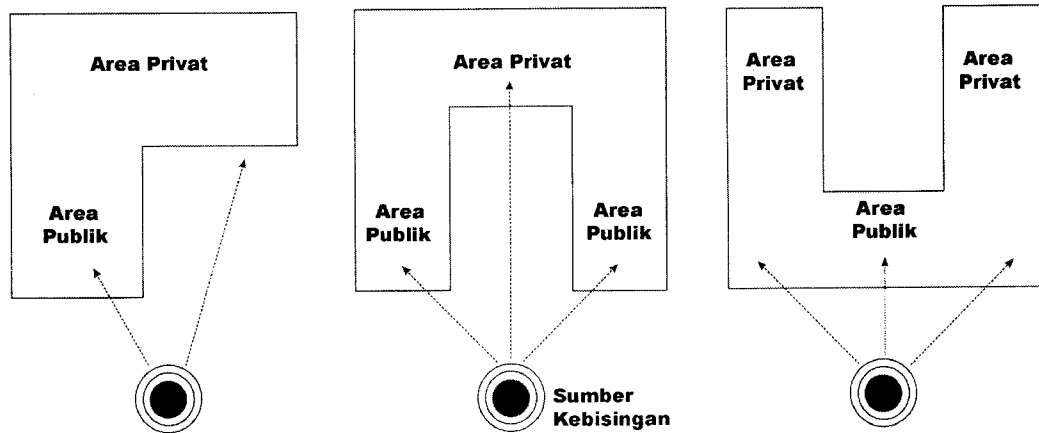
3. **Site di tepi jalan yang digunakan untuk penempatan tanda pengaturan lalu lintas**
   Penempatan tanda-tanda pengaturan lalu-lintas seperti *traffic-light, zebra-cross,* atau *u-turn* (perputaran balik), akan mengakibatkan pedal rem diinjak dan selanjutnya berganti pedal gas. Pada lokasi ini juga terjadi penumpukan jumlah kendaraan selama beberapa saat yang juga mengakibatkan kebisingan meningkat.

4. **Site di tepi jalan yang digunakan untuk kegiatan lain**
   Kegiatan yang dapat menambah tingkat kebisingan di jalan, seperti parkir tidak resmi, pemberhentian angkutan umum atau perdagangan kaki-lima sebaiknya dihindarkan dari site yang akan dipilih.

Gambar 3.3 Site di tepi jalan yang digunakan untuk halte, *zebra-cross* dan pengaturan lalu- lintas lainnya sebaiknya dihindari.

Gambar 3.4 Site di tepi jalan untuk perdagangan kaki-lima juga sebaiknya dihindari.

3.2 Pengaturan di dalam Site

Selain pemilihan site, pengaturan tata letak bangunan di dalam site juga perlu mendapat perhatian agar kebisingan di sekitar bangunan dapat dikendalikan. Pengaturan ini di antaranya meliputi:

1. Mengusahakan perletakan bangunan sejauh mungkin dari jalan raya. Hal ini karena semakin jauh jarak tempuh perambatan gelombang bunyi, maka tingkat keras bunyi yang diterima akan semakin rendah. Meski demikian siasat ini hanya mungkin dilakukan bilamana tersedia kapling dengan luasan mencukupi dan menjorok ke dalam jauh dari jalan.
2. Mengusahakan layout bangunan yang memungkinkan terciptanya zona privat pada jarak cukup jauh dari sumber kebisingan. Misalnya layout berbentuk L atau U (Gambar 3.5).

Gambar 3.5 Pengaturan layout bangunan untuk mendapatkan area yang lebih tenang karena jaraknya lebih jauh dari sumber kebisingan (Mediastika, 2005).

3. Bila perlu gunakan pagar untuk membatasi perambatan bunyi. Faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan fungsi pagar sebagai penghalang rambatan bunyi akan dipaparkan lebih lanjut.

4. Mengusahakan penggunaan dinding bangunan yang menghadap langsung ke jalan sebagai bagian dinding yang tebal dan tidak transparan. Hal ini dapat diartikan sebagai menghindari adanya lubang ventilasi atau bidang bukaan lainnya yang akan melancarkan masuknya kebisingan. Material bangunan yang tipis dan transparan lebih cenderung menyusupkan kebisingan daripada material yang tebal-berat dan tidak transparan.

5. Menambahkan material pelapis pada dinding bagian dalam yang akan meningkatkan kemampuan dinding dalam meredam kebisingan. Pembahasan secara terinci mengenai sifat-sifat material akan disajikan pada Bagian II.

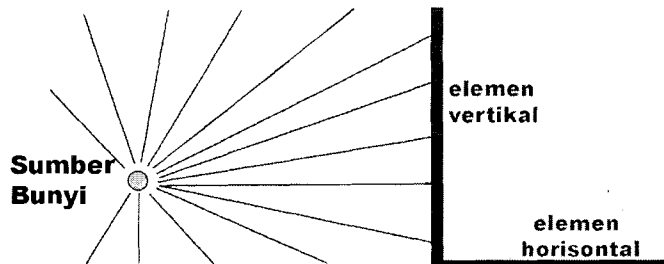
Dari kelima tahap pengendalian kebisingan yang telah diuraikan di atas, mungkin hanya perlu diterapkan satu tahap saja, atau dapat juga beberapa tahap sesuai kebutuhan. Bila tingkat kebisingan di jalan cukup tinggi sedangkan bangunan yang hendak dilindungi memiliki fungsi dengan baku kebisingan yang rendah, maka kebisingan yang harus diredam oleh elemen luar bangunan menjadi cukup besar. Dalam keadaan ini dimungkinkan keseluruhan tahap harus dilakukan secara simultan. Sebagai contoh, studio rekam dengan baku kebisingan maksimal 30 dBA, sementara jalan raya di depannya menghasilkan kebisingan sampai 80 dBA, maka elemen luar bangunan harus mampu meredam sampai 50 dBA. Keadaan ini tentu tidak dapat dipenuhi hanya oleh faktor jarak, namun harus dengan bantuan pagar pembatas dan atau dinding muka bangunan yang dirancang khusus.

3.3 Pagar untuk Mengatasi Kebisingan

Pagar adalah elemen luar bangunan yang jamak dijumpai di Indonesia. Kita dapat memanfaatkan pagar untuk sekaligus sebagai peredam rambatan gelombang bunyi. Beberapa pertimbangan agar pagar juga dapat berperan sebagai peredam secara maksimal diuraikan sebagai berikut:

1. **Faktor Posisi**

   Meski bunyi yang merambat dari sebuah sumber bunyi tersebar merata ke segala arah, namun bunyi yang diterima bangunan umumnya diperoleh dari perambatan bunyi secara mendatar atau pada sudut kemiringan tajam (lebih kecil dari 90°). Perambatan pada sudut semacam ini terjadi melalui medium rambat udara yang ada di sekitar bangunan. Perambatan melalui tanah juga dapat terjadi, hanya saja yang sampai pada bangunan sangatlah kecil karena tanah memiliki kemampuan redam yang cukup besar. Perambatan gelombang bunyi secara horizontal atau dalam sudut tajam dapat ditahan dengan elemen bangunan berposisi tegak (vertikal). Oleh karena itu elemen bangunan yang berupa elemen vertikal akan lebih berhasil mengatasi perambatan ini dibanding elemen horizontal (Gambar 3.6). Dalam hal ini dapat dicatat bahwa elemen vertikal bangunan adalah pagar (elemen luar bangunan), dinding (beserta kelengkapannya, seperti lubang ventilasi, jendela, pintu, dll.), dan atap (beberapa bentuk atap bisa memiliki kemiringan yang amat tajam sehingga menyerupai elemen vertikal).

   Bunyi dengan frekuensi yang amat rendah akan disertai getaran yang hebat oleh karena kuatnya gelombang yang dimilikinya. Pada keadaan semacam ini tidak hanya elemen vertikal bangunan yang akan berperan dalam menghambat perambatan, namun juga elemen horizontal. Hal ini terjadi karena hebatnya getaran yang menyertai bunyi tidak mampu diredam sepenuhnya oleh tanah.

Gambar 3.6 Elemen vertikal bangunan menerima perambatan bunyi secara langsung.

2. Faktor Perletakan

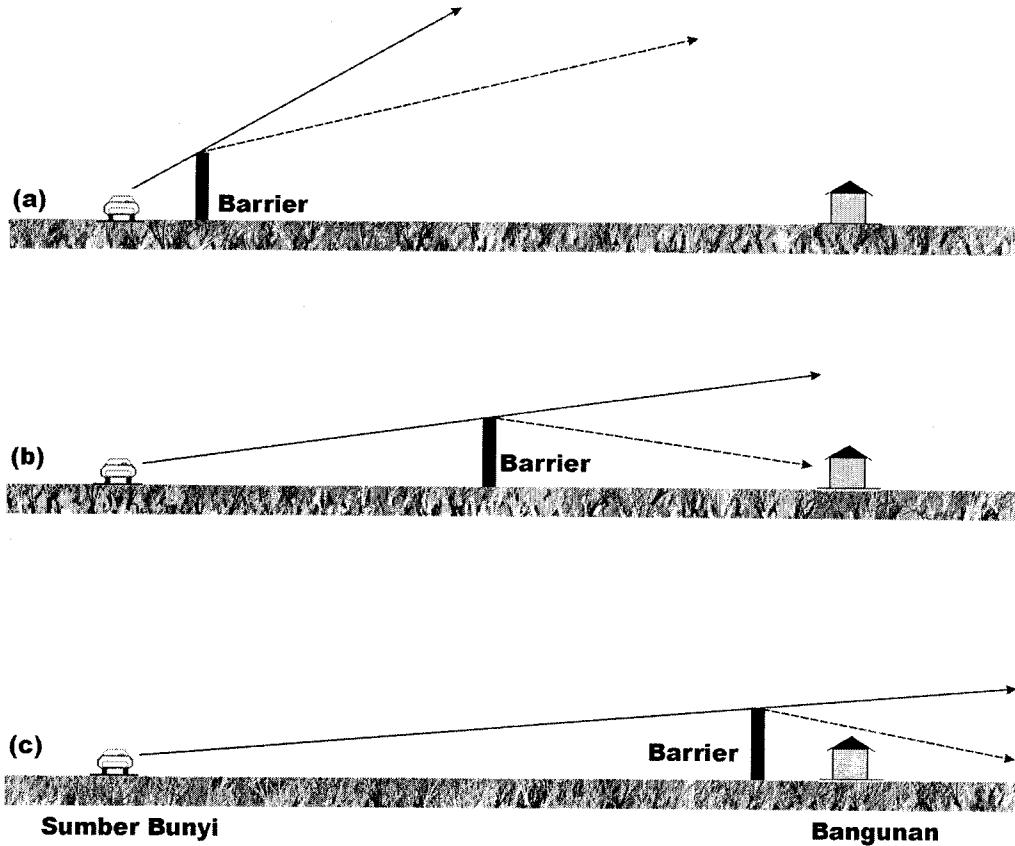
Elemen vertikal bangunan berupa pagar yang digunakan untuk menahan perambatan gelombang bunyi idealnya diletakkan sedemikian rupa agar menghasilkan peredaman terbaik. Secara garis besar ada tiga kemungkinan perletakan elemen vertikal, dengan asumsi bahwa letak sumber bunyi terpusat di tengah badan jalan. Kecenderungan bahwa pusat sumber bunyi berada di tengah badan jalan ditengarai oleh Departemen Lingkungan, Inggris (1975), yang meneliti bahwa secara umum kendaraan cenderung berjalan di tengah untuk menghindari objek-objek yang mungkin akan menghambat laju perjalanan (misalnya: kendaraan lain yang berhenti, parkir, ataupun objek lain yang berada di tepi jalan). Ketiga perletakan tersebut adalah (Gambar 3.7):

a. Cenderung lebih mendekati sumber bunyi

Pada keadaan ini, elemen penghalang bangunan (seperti pagar) diletakkan dengan jarak tertentu dan berdiri sendiri (terpisah dari bangunan). Contohnya adalah pagar. Pada bangunan dengan luas lahan yang mencukupi, sangat dimungkinkan pagar diletakkan cukup jauh dari dinding muka bangunan. Dengan perletakan semacam ini maka gelombang bunyi yang menyentuh ujung atas pagar, sebagian akan dibelokkan ke atas dan sebagian ke arah bawah. Oleh karena dinding muka bangunan berada pada jarak yang cukup jauh, maka pembelokan perambatan gelombang bunyi itu dimungkinkan untuk tidak langsung menuju ke bangunan, meskipun sebagian dari gelombang bunyi ini juga dimungkinkan untuk tetap merambat menuju dinding muka bangunan (Gambar 3.7a).

b. Cenderung lebih mendekati bangunan

Pada keadaan ini elemen vertikal diletakkan pada jarak cukup dekat dengan dinding muka bangunan. Hal ini terjadi pada bangunan dengan luas lahan kurang, hanya menyisakan lahan terbuka bagian depan yang jaraknya lebih pendek dari lebar setengah badan jalan. Gelombang bunyi yang mengenai permukaan pagar sebagian membelok ke atas dan sebagian besar sisanya langsung menuju dinding muka bangunan sehingga apabila pada dinding muka bangunan dipasang jendela atau lubang ventilasi lainnya maka gelombang bunyi akan langsung masuk ke dalam bangunan. Keadaan ini kurang menguntungkan dibandingkan bila pagar cenderung lebih dekat ke sumber bunyi, karena lebih banyak bagian dari gelombang bunyi yang terbelokkan menuju bangunan. Hal ini dapat diperbaiki dengan membuat pagar yang lebih tinggi, melebihi tinggi atap bangunan, agar pembelokan gelombang bunyi tidak menuju dinding muka bangunan (Gambar 3.7c).

c. Apabila perletakan (a) tidak dapat dicapai karena keterbatasan lahan, perletakan (c) dengan ketinggian pagar jauh melebihi banguna lebih disarankan. Peletakan pagar yang lebih dekat ke bangunan (c) lebih baik bila dibandingkan peletakan pagar di tengah-tengah antara garis tengah jalan dinding muka bangunan (posisi b). Pada keadaan ini pembelokan gelombang bunyi sebagian besar justru langsung menuju dinding muka bangunan, sekalipun pagar ditinggikan (Gambar 3.7b).

Gambar 3.7 Beberapa kemungkinan perletakan pagar atau *barrier* terhadap sumber kebisingan.

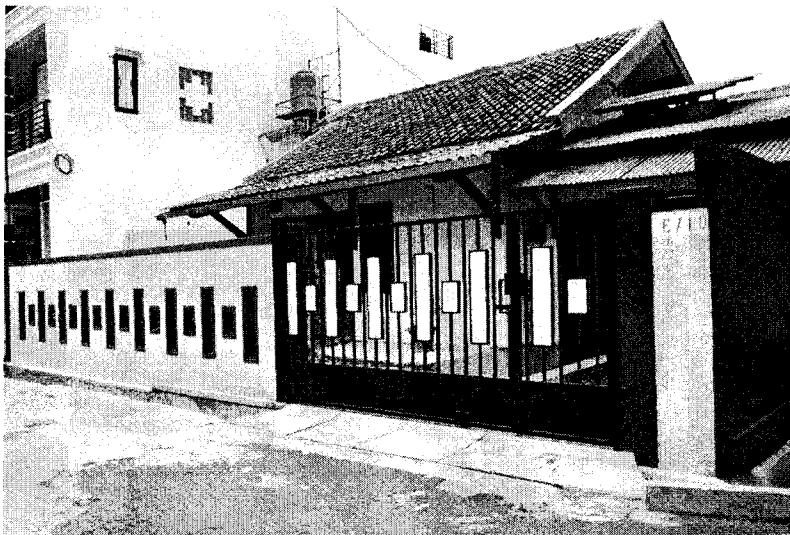
3. Faktor Bentuk

Elemen vertikal bangunan yang diletakkan terpisah dari bangunan, misalnya pagar, dapat dimanfaatkan dengan baik sebagai peredam gelombang bunyi. Pemanfaatan secara maksimal akan terdukung bila pagar dan elemen pembatas sejenisnya mempertimbangkan bentuk-bentuk tertentu. Pagar atau pembatas antarlahan atau antara lahan dengan jalan pada umumnya dibuat dengan bentuk kotak pipih sepanjang garis batas tersebut. Biasanya dibuat dari bata merah atau batako yang diplester kedua sisinya. Bentuk ini menghemat biaya dan kebutuhan lahan.

Sepanjang dibuat sebagai kotak pipih yang pampat (tanpa lubang atau celah), maka fungsinya sebagai peredam gelombang bunyi akan maksimal. Sebaliknya, bila berbentuk sekedar sebagai pagar pembatas saja, maka fungsi peredamannya tidak akan sempurna. Perlu diingat bahwa gelombang bunyi mampu menembus celah terkecil untuk kemudian terduplikasi menjadi sumber bunyi kedua atau sumber bayangan. Baca Bab IV mengenai defraksi.

Selain pagar pembatas dalam bentuk kotak pipih, pembatas juga dapat berupa gundukan tanah atau bukit kecil. Bahkan bentuk ini mampu memberikan peredaman yang lebih maksimal, terutama terhadap gelombang bunyi berfrekuensi rendah yang disertai getaran hebat. Pagar dalam bentuk ini memiliki berat yang jauh lebih besar dari pagar kotak pipih sehingga lebih stabil dalam menahan resonansi. Bila resonansi dapat ditekan maka perambatan gelombang bunyi yang disertai getaran juga akan semakin kecil. Selain dalam bentuk segitiga bervolume, juga dapat dipilih bentuk lain seperti kotak tebal, namun secara estetika dirasa kurang memenuhi.

Tabloid Rumah

Gambar 3.8 Bangunan tanpa pembatas fisik antara kapling dengan jalan, sangat potensial untuk menderita kebisingan.

Tabloid Rumah

Gambar 3.9 Bentuk pagar yang berlubang-lubang kurang mampu meredam kebisingan, meski secara psikologis dapat mengurangi dampak kebisingan karena pandangan ke arah sumber kebisingan terhalangi.

4. Faktor Berat dan Kerapatan Material

Menurut teori perambatan gelombang bunyi, material alam atau material bangunan yang memiliki berat tertentu lebih baik dalam meredam bunyi. Berat yang dimiliki tiap material mendukung material tersebut untuk bertahan pada posisinya untuk tidak mudah mengalami resonansi sehingga tidak meneruskan perambatan gelombang bunyi ke balik pembatas. Semakin berat dan tebal material atau lapisan material yang digunakan, semakin baik kemampuan redamnya, tidak saja karena menekan terjadinya resonansi, namun juga karena lebih mampu menyerap gelombang bunyi yang masuk melalui pori-porinya, dibandingkan material yang tipis dan ringan.

Jenis material, kerapatan atau model penyusunan material yang digunakan memiliki peran penting dalam proses peredaman. Gelombang bunyi akan terpantul sempurna oleh material yang pampat dan licin sempurna, serta terpantul menyebar (terdifusi) oleh permukaan pampat yang tidak rata. Pada material yang berlubang atau bercelah, gelombang bunyi dapat melewatinya menuju area di balik bidang pembatas (Gambar 4.8). Meski begitu, bidang pembatas, misalnya pagar yang pampat, umumnya kurang disukai karena tampilannya kurang menarik. Oleh sebab itu para arsitek diharapkan mampu memberikan contoh rancangan pagar atau pembatas yang pampat namun tetap estetis (Gambar 3.11 s/d Gambar 3.37).

Beberapa perancang menganjurkan untuk menggunakan pepohonan untuk meredam kebisingan. Setelah memahami teori tentang bunyi dan perambatannya, tentulah kita mengerti bahwa hal itu tidak sepenuhnya benar. Sebagaimana dibahas sebelumnya, untuk menjadi peredam yang baik, dibutuhkan material dengan berat, tebal, dan kerapatan tertentu. Dedaunan yang tumpang tindih, meski dalam keadaan sangat rapat, belum dapat mengimbangi berat dan pampatnya pagar yang terbuat dari batu bata atau beton. Apabila dirasakan bahwa kebisingan berkurang dengan penanaman pohon, hal ini lebih karena faktor psikologis yang muncul akibat penempatan pepohonan yang membatasi pandangan ke sumber kebisingan. Karena sumber bising tidak terlihat akan memberikan kesan adanya pengurangan kebisingan. Pengurangan tingkat kebisingan yang dirasakan di dalam bangunan yang menggunakan pagar dari tanaman lebih disebabkan oleh faktor jarak antara sumber bunyi dengan dinding muka bangunan.

Tabel 3.1 Beberapa jenis material dan beratnya (Elridge, 1974)

Material	kg/m²
Asbes lembaran tebal 4,8 mm	8,4
Beton ringan untuk paving blok	7-11
Beton untuk cor lantai tebal 25 mm	55-65
Plaster board gipsum tebal 9,5 mm	6,5-10
Genteng keramik	34-40
Genteng beton	34-45

5. Faktor Material Bangunan

Ada berbagai macam pilihan material untuk menciptakan bidang batas antara lahan dengan jalan yang sekaligus berfungsi sebagai peredam. Material ini dapat dibedakan menjadi material alami dan material buatan.

a. Material Alami

Material alami yang dapat menjadi pembatas lahan adalah bukit kecil yang memang sudah terbentuk antara bangunan dengan jalan, gundukan tanah buatan, atau susunan tanah dan bebatuan alam. Material alami ini memiliki berat yang cukup untuk sekaligus digunakan sebagai peredam. Untuk kekuatan susunan, material alami ini perlu mendapat sentuhan penyelesaian, seperti penanaman rumput atau semak rendah, agar tidak tergerus air (Gambar 3.18).

b. Material Buatan

Material buatan untuk pagar pembatas sangat beragam macamnya, namun tetap harus memperhatikan aspek berat material. Beberapa yang dapat dipilih adalah batu bata merah, batako, material sejenis seperti *paving block*, material dari tanah liat seperti genteng, beton, dlsb. Beberapa material yang telah disebutkan mungkin tidak secara khusus dimaksudkan untuk disusun sebagai elemen vertikal bangunan. Meski begitu di tangan mereka yang kreatif justru dapat dirancang sebagai elemen vertikal yang berfungsi sebagai pembatas dan peredam yang sekaligus memiliki nilai estetis.

6. **Faktor Dimensi**

Aspek selanjutnya yang cukup penting diperhatikan adalah ukuran atau dimensi pagar sebagai pembatas. Karena ditujukan untuk melindungi bangunan dari rambatan kebisingan, maka semakin menyeluruh dalam melingkupi bangunan dan semakin tinggi, maka akan semakin baik fungsinya. Namun setidaknya ada dua alasan yang membuat hal ini sulit dipenuhi. Pertama tentu dari aspek estetika. Pagar yang rapat mengelilingi bangunan memberikan kesan tertutup dan kaku. Kedua, pagar semacam ini secara keseluruhan akan menutup aliran udara menuju bangunan sehingga menghilangkan ventilasi alami yang pada beberapa bangunan masih sangat dibutuhkan.

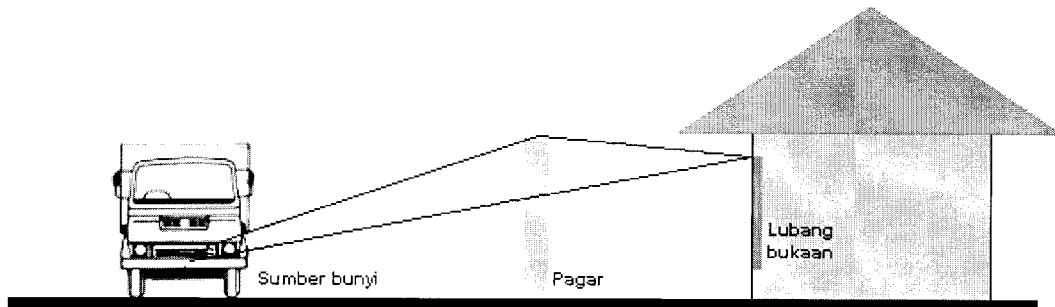
Oleh karena itulah perlu dipikirkan dimensi ideal suatu pagar, agar aliran udara menuju bangunan tetap terjadi sementara fungsinya sebagai peredam kebisingan tetap efektif. Secara teoretis tersedia rumus untuk menghitung dimensi efektif suatu bidang batas yang sekaligus menjadi peredam bising atau disebut *noise barrier* (Mediastika, 2005). Kemampuan redaman pagar tergantung pada jarak pagar terhadap as/garis tengah jalan, ketinggian pagar dan ketinggian ambang atas bidang bukaan atau bidang tipis-transparan yang ada pada dinding muka bangunan (Gambar 3.10). Perletakan pagar yang jaraknya lebih jauh ke dinding muka bangunan dibandingkan ke as jalan akan memberikan nilai redaman yang baik. Pagar yang menjulang memberikan redaman yang lebih baik daripada pagar rendah. Selanjutnya ambang atas bukaan atau bidang tipis-transparan yang semakin rendah juga akan memberikan nilai redaman yang lebih baik dibandingkan ambang atas yang tingginya melebihi ketinggian pagar.

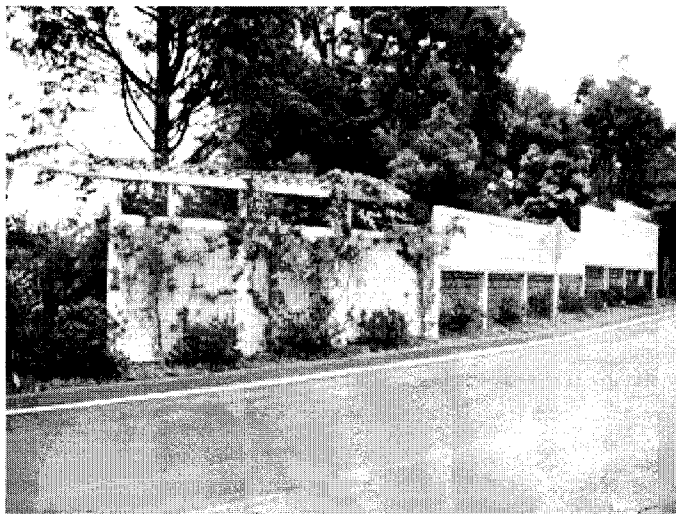
Kombinasi dari ketiga aspek di atas secara teoretis maksimal hanya akan mampu mengurangi kebisingan sekitar 22 dBA. Redaman sebesar 10 dBA dianggap sebagai nilai redaman minimal yang mencukupi untuk mengurangi masuknya kebisingan ke dalam site bangunan. Redaman kurang dari 10 dBA dianggap kurang signifikan nilainya, sehingga pagar dengan nilai redaman di bawah 10 dB harus diperbaiki. Dari uji coba terhadap beberapa kemungkinan dimensi pagar untuk memperoleh kompromi bagi fungsi aliran udara dan redaman bising menunjukkan bahwa untuk lebar jalan sekitar 15 m, dengan lebar halaman depan 4 s/d 5 m dan ketinggian ambang atas bidang bukaan (pintu dan jendela) 2 m, maka untuk memperoleh redaman sebesar minimal 10 dB, diperlukan ketinggian pagar minimal 2,2 m.

7. **Faktor Estetika**

Pertimbangan untuk menggunakan pagar sebagai *noise barrier* membuat aspek estetika menjadi aspek yang seringkali terlupakan. Padahal karena pagar diletakkan di depan bangunan, estetika merupakan aspek yang cukup penting dalam menunjukkan fasad

bangunan secara keseluruhan. Ada hal-hal yang membatasi kreativitas untuk mendapatkan pagar yang estetik karena harus terelaborasi dengan persyaratan bentuk, berat, dimensi, dll.

Beberapa contoh pagar yang ditunjukkan dalam Gambar 3.11 s/d Gambar 3.14 semoga mampu menjadi inspirasi bagi penerapan aspek estetika pada *noise barrier*.

Gambar 3.10 Garis propagasi dari sumber bunyi - ambang atas pagar - ambang atas bidang bukaan. Selisih panjang ketiga garis ini berpengaruh pada besarnya redaman yang diperoleh dari pagar.

Gambar 3.11 Pagar yang diselesaikan sebagai *noise barrier* dengan material kombinasi bata dan logam.

Gambar 3.12 Pagar yang sama dengan Gambar 3.11, pada sisi lainnya diselesaikan dengan tanaman merambat.

Gambar 3.13. Pagar dari material bata plester yang dipenuhi dengan tanaman merambat, seolah-olah tidak ada material bata plester di dalamnya.

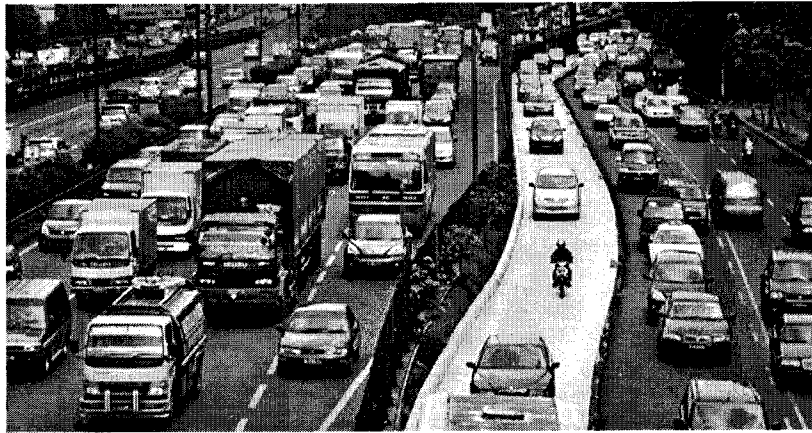
Tabloid Rumah

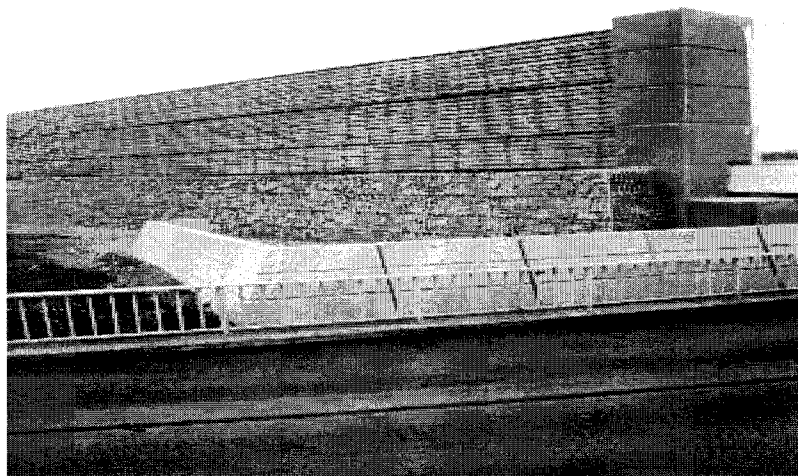
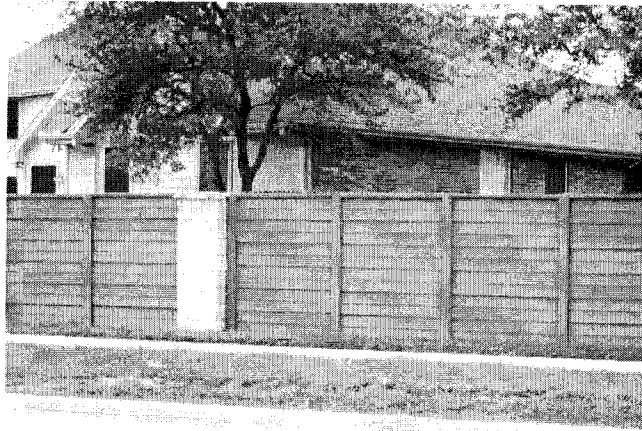
Gambar 3.14 Pagar masif dari material bata plester dikombinasikan dengan tanaman sehingga selain mampu menjadi *noise barrier* juga memiliki tampilan menarik.

3.4 *Noise Barrier* untuk Mengatasi Kebisingan

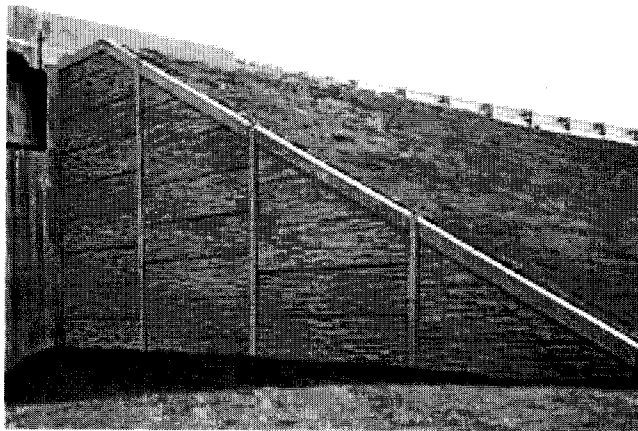
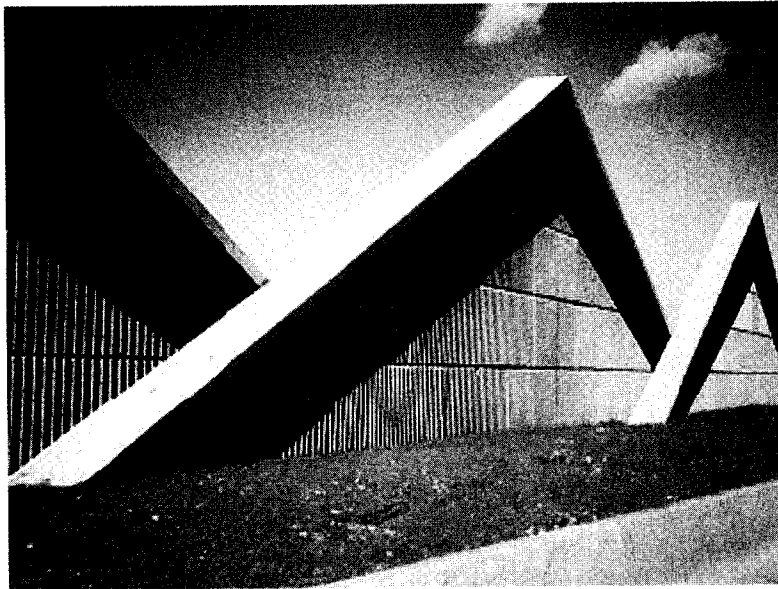
Persoalan kebisingan yang mengganggu bangunan domestik atau bangunan publik beberapa lantai dapat coba diatasi dengan memanfaatkan pagar bangunan sebagai peredam kebisingan. Namun ada kalanya dijumpai pemanfaatan pagar yang kurang berhasil, yaitu pada tingkat kebisingan amat tinggi yang mengganggu kegiatan di dalam bangunan berlantai banyak. Pada keadaan semacam ini pembangunan peredam secara khusus atau yang disebut *noise barrier* menjadi amat penting.

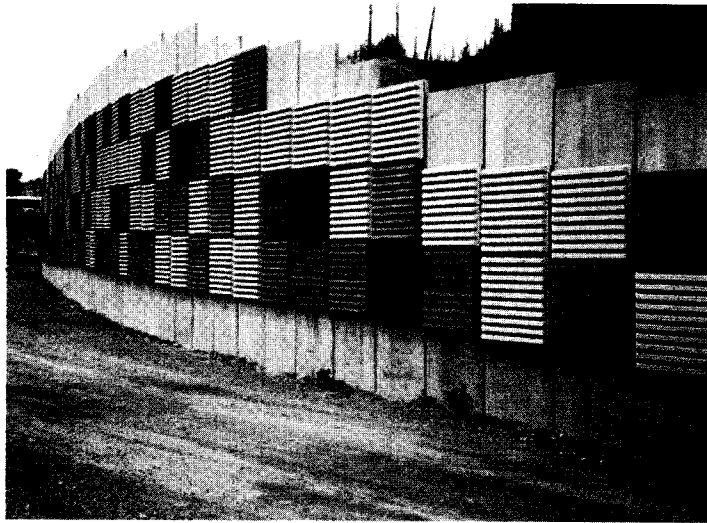
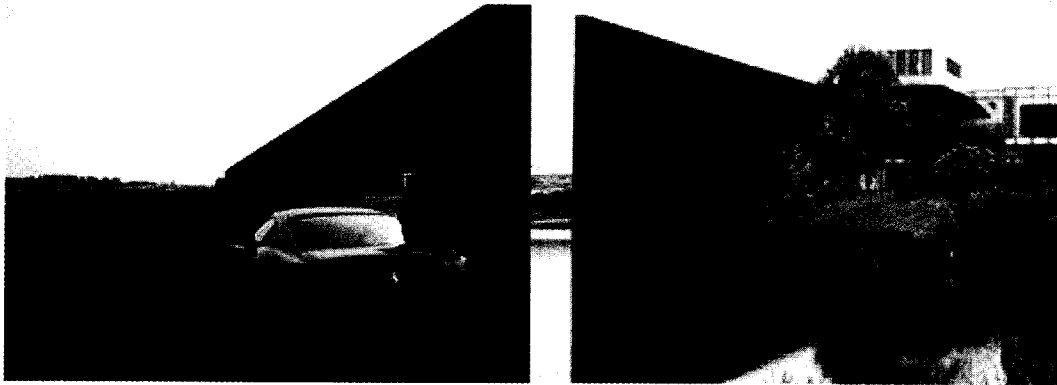
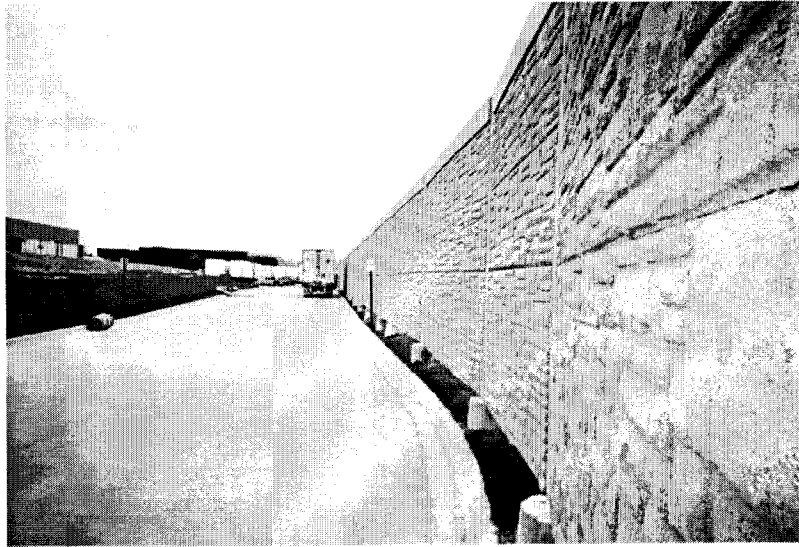
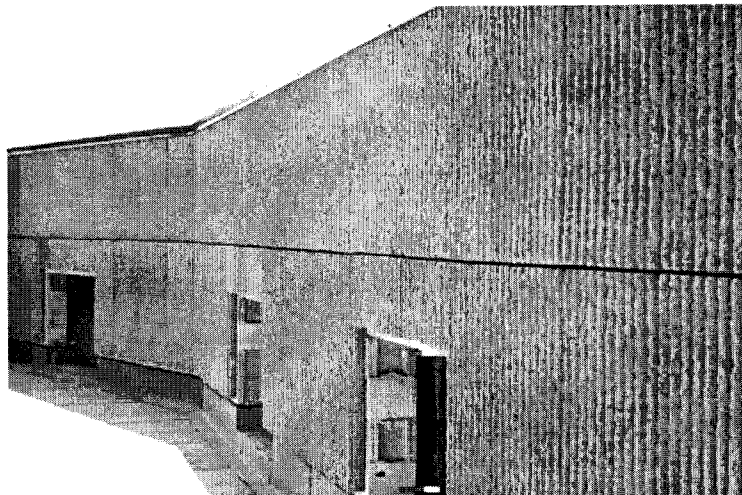
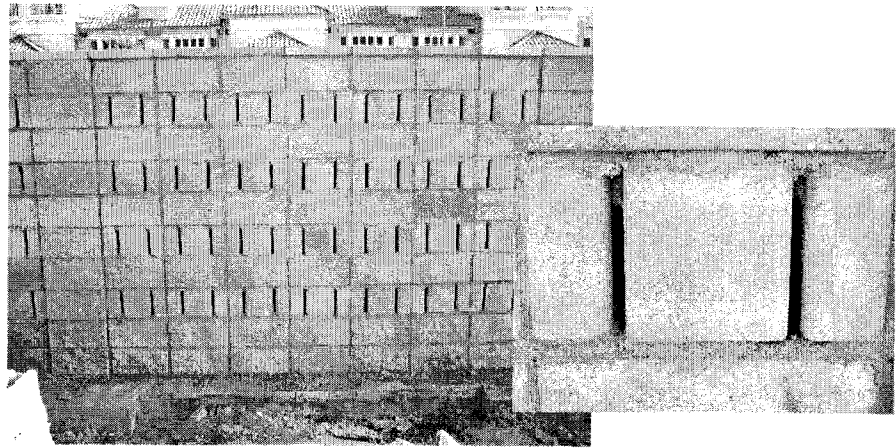
Aspek-aspek yang penting untuk diperhatikan dalam pembangunan *noise barrier* adalah sama dengan aspek pemanfaatan pagar sebagai peredam bising, yaitu posisi, perletakan, bentuk, berat dan kerapatan material, pemilihan material, dimensi dan estetika. *Barrier* yang sengaja dibangun untuk meredam bunyi bisa dijumpai pada garis luar site bangunan yang berdekatan dengan jalan raya yang banyak dilalui kendaraan besar/berat seperti jalan lingkar, jalan tol atau di negara maju disebut *highway*.

Hal paling menonjol dalam rancangan *noise barrier* adalah pemilihan dan penggunaan aneka material modern guna mencapai estetika yang tinggi. Meski demikian pada beberapa keadaan dijumpai pula penggunaan material konvensional seperti kayu dan batu/beton.

Gambar 3.15 Bangunan yang berada di tepi jalan yang dilalui banyak kendaraan berat/besar akan menderita kebisingan yang lebih tinggi sehingga perlu membangun *noise barrier* secara khusus.

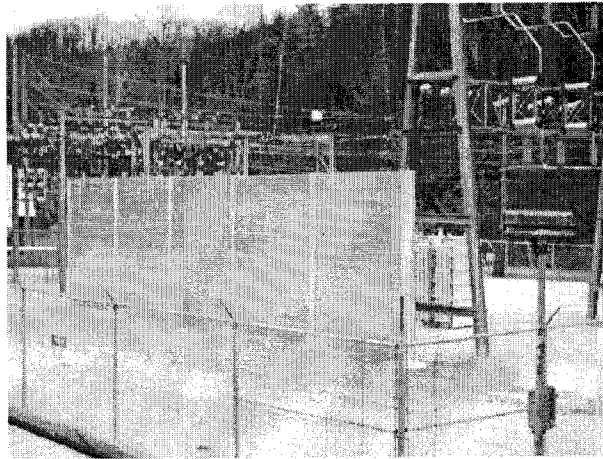
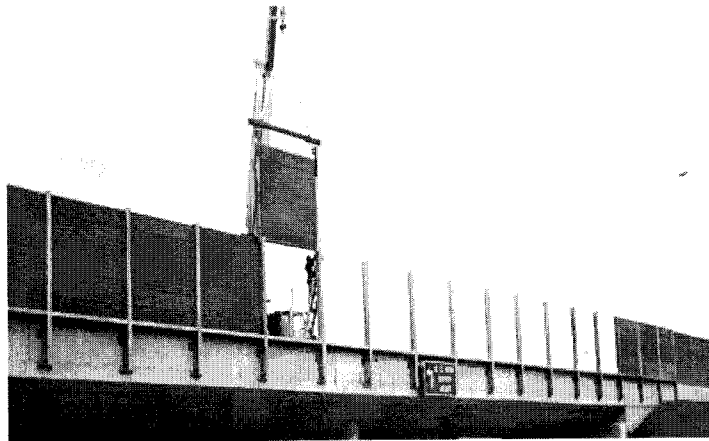
1. **Material Kayu**
   Meski memberikan tampilan alami sebagaimana layaknya pagar bangunan, *noise barrier* yang tersusun dari kayu memiliki kekurangan dari aspek tebal dan berat material bila dibandingkan material dari batu atau beton. Celah-celah yang terbentuk antarpapan atau lembaran kayu yang disusun juga sangat memungkinkan terjadinya penyusupan rambatan gelombang bunyi.

Gambar 3.16 Penggunaan material utama kayu yang dianyam sebagai *noise barrier,* dikombinasikan dengan beton sebagai fondasinya.

Gambar 3.17 Papan kayu disusun sebagai pagar yang diharapkan sekaligus berfungsi sebagai *noise barrier.*

2. **Material Batu/bata/beton**

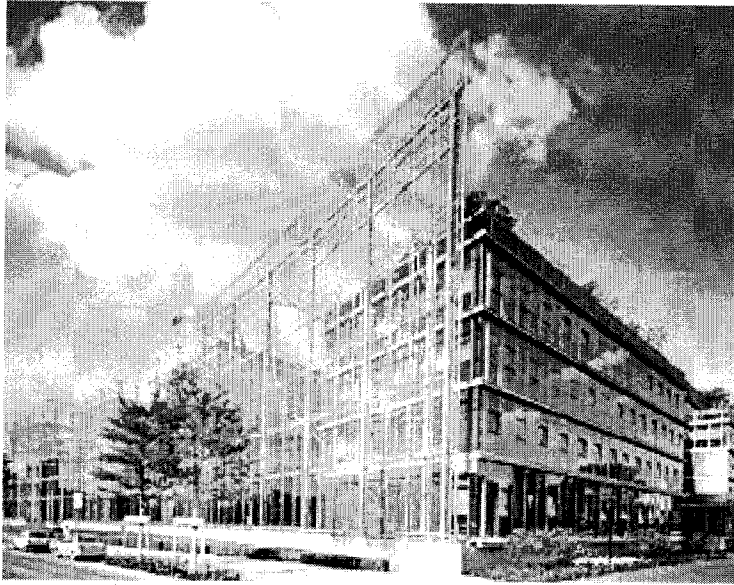
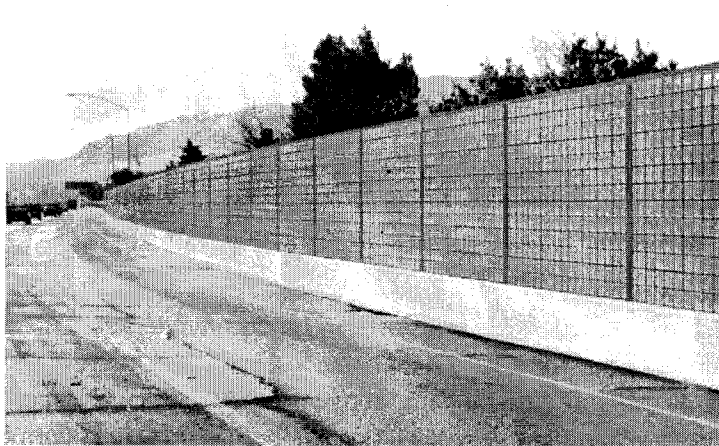
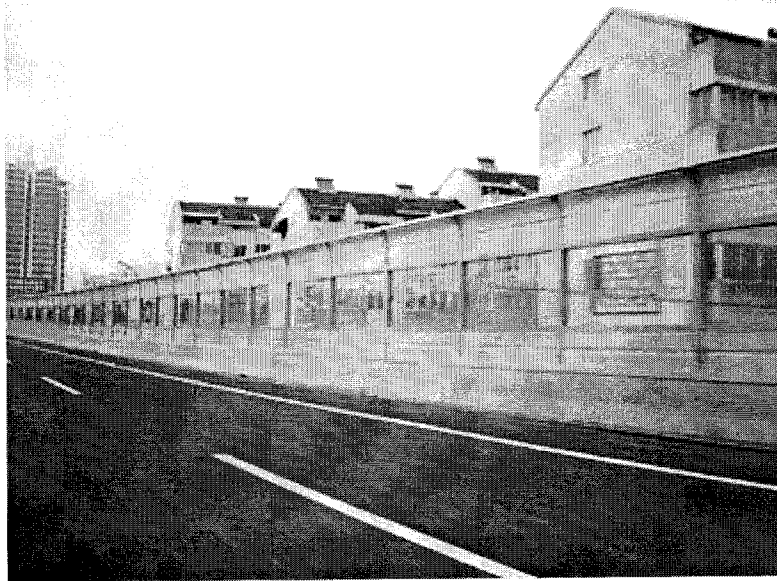
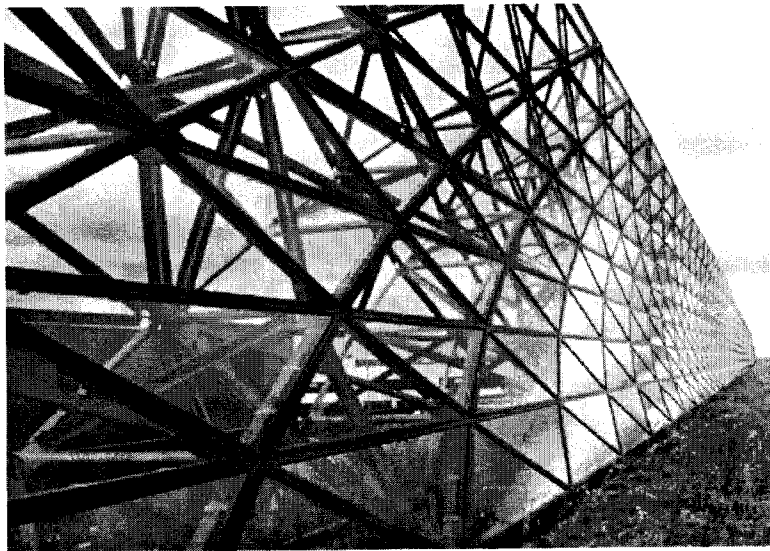
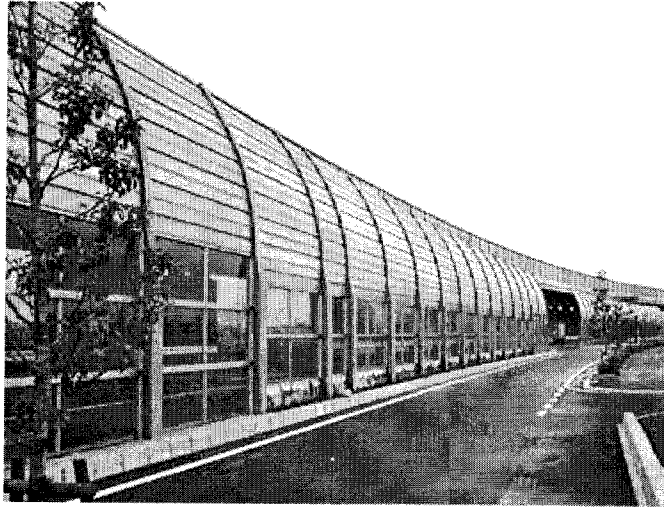
Seiring perkembangan dan penemuan material baru, batu, bata atau beton kini digolongkan sebagai material konvensional. Meski begitu, dilihat dari aspek berat dan tebal materialnya, batu, bata atau beton merupakan material yang sangat disarankan untuk digunakan sebagai material *noise barrier*. Tampilan material yang bersahaja dan kaku ini memerlukan sentuhan akhir agar memiliki nilai estetika tinggi.

Gambar 3.18 *Noise barrier* yang merupakan kombinasi antara gundukan tanah yang membentuk bukit dan dinding beton sebagai penopangnya. Permukaan tanah perlu ditanami rumput untuk mencegah erosi.

Gambar 3.19 *Noise barrier* bermaterial beton pre-pabrikasi dengan permainan bagian atas dan permukaan difus untuk menyebarkan gelombang bunyi yang datang padanya.

Gambar 3.20 *Noise barrier* dari beton dengan penyelesaian sisi atas meruncing dan permainan warna sehingga tampil lebih menarik (Miami, Amerika Serikat).

Gambar 3.21 *Noise barrier* bermaterial beton dengan penyelesaian penyebar pemantul bunyi berwarna-warni dari logam

Gambar 3.22 *Noise barrier* di Brembo, Itali, bermaterial dasar beton disalut semacam keramik warna merah. Pilihan warna yang kontras dengan lingkungan sekitar. Penyelesaian permukaan licin semacam ini cenderung memantulkan kembali bunyi ke arah sumber.

Gambar 3.23 *Noise barrier* tersusun dari beton pre-pabrikasi, dengan penyelesaian susunan batu kasar pada permukaannya.

Gambar 3.24 *Noise barrier* dari material beton pre-pabrikasi dengan permukaan kasar bergelombang sebagai *difuser.*

Gambar 3.25 *Noise barrier* dari beton cetak. Ketebalannya dibuat ganda sehingga area di belakang celah terlihat gelap. Hal ini untuk menyiasati agar tidak ada bunyi yang menyusup melewati celah.

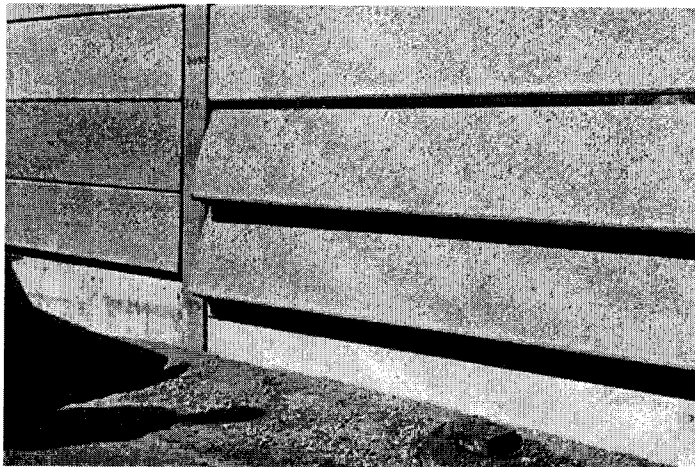
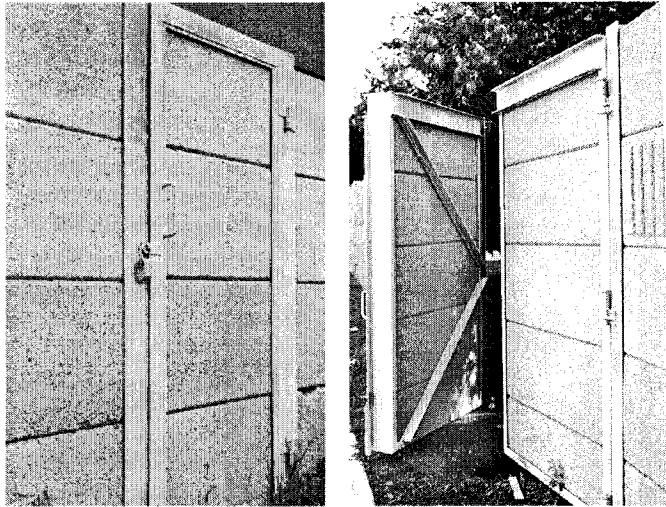
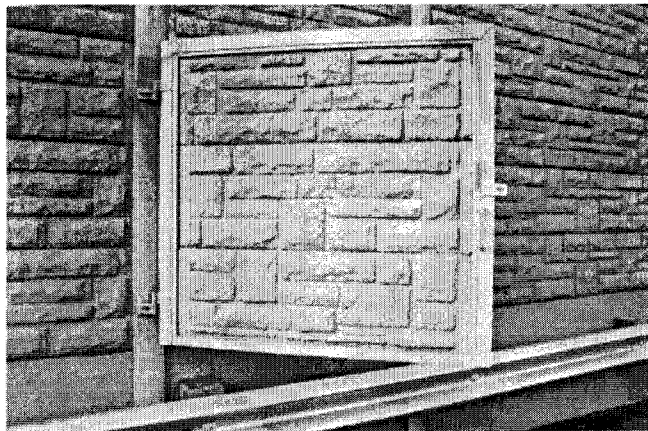
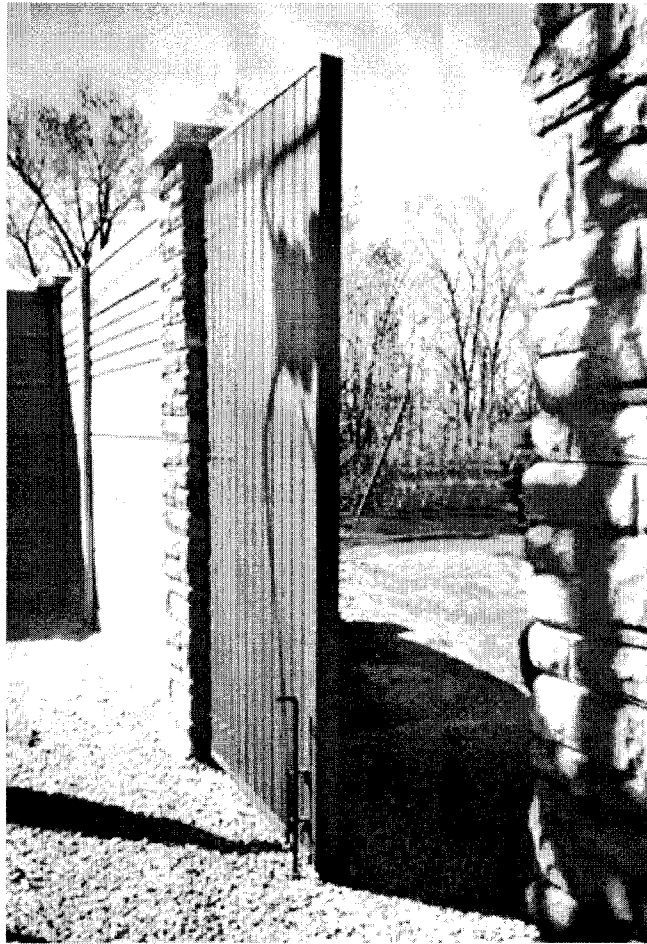
3. Material Logam

Penggunaan logam sebagai material *noise barrier* dapat memenuhi aspek berat meski tidak selalu memenuhi aspek tebal. Logam memberikan tampilan modern pada *noise barrier* dan menghemat waktu pemasangan karena dapat diselesaikan secara pre-pabrikasi (lembaran-lembaran dicetak di pabrik). Permukaan logam memiliki kecenderungan sebagai pemantul yang kuat. Oleh karena itu jika digunakan sebagai meterial *noise barrier*, sebaiknya diselesaikan dengan permukaan kasar (bergelombang, bergerigi, dll.), agar tidak memantulkan kembali bunyi ke arah sumber secara kuat, yang justru menyebabkan terjadinya akumulasi kebisingan. Permukaan yang tidak rata akan menjadi difuser dan menyebarkan gelombang bunyi yang mengenainya agar tersebar secara merata. Pemerataan sebaran gelombang bunyi akan menyebabkan kekuatannya atau tingkat kerasnya juga tersebar secara merata sehingga mengurangi terjadinya akumulasi bunyi.

Gambar 3.26 *Noise barrier* bermaterial logam ringan yang sengaja didirikan untuk meredam perambatan kebisingan dari peralatan pabrik.

Gambar 3.27 Pemasangan *noise barrier* dari material logam pre-pabrikasi.

4. Material Kaca

Material transparan seperti kaca, akrilik dan semacamnya telah menjadi simbol dari rancang-bangun modern. Kaca-kaca tebal dan berkualitas kini telah banyak digunakan sebagai pengganti material dinding yang konvensional. Kaca juga dapat menjadi material pilihan untuk menyusun *noise barrier*. Meski memberikan kesan modern dan menyediakan *view* dari bangunan ke arah luar, sifat permukaan kaca yang cenderung halus dan licin memiliki kekurangan sebagai *noise barrier*, yaitu memantulkan kembali gelombang bunyi ke arah sumber sehingga menimbulkan terjadinya akumulasi kebisingan.

Gambar 3.28 *Noise barrier* kombinasi kaca dan rangka logam dengan ketinggian melebihi bangunan yang dilindungi dari kebisingan. Pilihan material memberikan tampilan modern pada area tersebut.

Gambar 3.29 Kombinasi antara penggunaan balok kaca (*glass-block*) sebagai material utama *noise barrier*, rangka logam dan beton sebagai fondasi.

Gambar 3.30 Kombinasi material akrilik, logam dan beton pada *noise barrier*. Material akrilik seringkali dipilih karena memiliki elastisitas yang lebih baik dari kaca sehingga dapat mengurangi risiko kecelakaan.

Gambar 3.31 Rangka logam berbentuk lengkung dengan kaca tebal sebagai pengisinya. Lengkung yang tercipta akan memaksimalkan kemampuan redam *barrier* karena mengurangi kemungkinan perambatan gelombang bunyi ke balik *barrier*.

Gambar 3.32 Kombinasi kaca dan logam pada *noise barrier.*

5. Bukaan pada Noise Barrier

Untuk kepentingan akses, pada suatu *noise barrier* seringkali harus diletakkan gerbang atau pintu. Agar kemampuan redam *noise barrier* yang telah diperhitungkan tidak berkurang drastis oleh karena adanya celah atau lubang, bidang bukaan pada *noise barrier* sedapat mungkin harus menggunakan material yang sejenis dengan material utama dan pada saat tertutup sungguh-sungguh serta dalam keadaan pampat.

Gambar 3.33 *Noise barrier* beton pre-pabrikasi yang terpasang pada rangka logam memudahkan sistem buka-tutup untuk keperluan aliran udara.

Gambar 3.34 Pintu sebagai akses keluar-masuk seringkali diperlukan keberadaannya pada sebuah *noise barrier*. Pada gambar di atas digunakan material yang sama dengan material *barrier*, sehingga ketika ditutup kemampuan redamnya tetap baik.

Gambar 3.35 Contoh lain penggunaan material *noise barrier* dan akses melewatinya.

Gambar 3.36 *Noise barrier* dari beton/batu dikombinasikan dengan pintu dari logam

6. Noise Barrier Berbentuk Terowongan

Kebisingan yang timbul di jalan raya, selain diredam dengan pembangunan *noise barrier* di sepanjang tepi jalan (di antara bangunan dan jalan) juga dapat diatasi dengan membangun terowongan di sepanjang jalan yang berhadapan langsung dengan bangunan yang hendak dilindungi. Tingkat keberhasilan redaman kebisingan dengan *noise barrier* model terowongan lebih besar dibanding *noise barrier* berupa dinding tegak yang dipasang di tepi jalan. Hal ini karena pada model terowongan, gelombang bunyi yang hendak menyebar justru terkungkung oleh dinding dan atap terowongan.

Gambar 3.37 Terowongan *noise barrier* di Tullamarine, Melbourne, Australia menggunakan rangka logam dan penutup utama kaca, agar jalan tetap mendapatkan cahaya matahari.

3.5 Dinding Bangunan untuk Mengatasi Kebisingan

Sebagaimana pagar, dinding yang melingkupi bangunan, terutama dinding bagian depan, adalah elemen tegak yang dapat dimaksimalkan sebagai peredam. Pengolahan dinding muka bangunan termasuk dalam kelompok pemanfaatan elemen luar bangunan untuk meredam kebisingan, karena pemukaan dinding yang menghadap keluar yang akan diolah lebih lanjut.

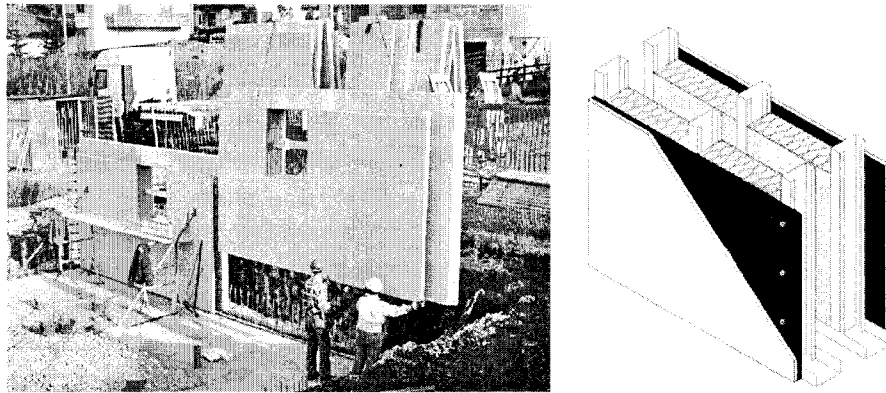
Sebelum memanfaatkan dinding depan bangunan sebagai peredam kebisingan, penting kiranya untuk memahami perilaku gelombang bunyi ketika mengenai suatu bidang pembatas. Secara keseluruhan kebisingan yang mengenai dinding akan menghadapi tiga kemungkinan: dipantulkan, diserap dan diteruskan (definisi mengenai hal ini dipaparkan lebih mendalam pada Bab IV). Proporsi gelombang bunyi yang dipantulkan, diserap dan diteruskan, sangat tergantung

pada frekuensi bunyi dan karakteristik dinding pembatas. Karakteristik ini meliputi keadaan permukaan, ketebalan material, berat material dan dimensi material. Fungsi dinding sebagai peredam akan terjadi bila dinding mampu memantulkan atau menyerap gelombang bunyi yang mengenainya, tanpa memberikan kesempatan pada bunyi untuk merambat ke dalam ruang. Inti dari usaha untuk memantulkan bunyi atau menyerap bunyi adalah mengusahakan agar dinding tidak mengalami resonansi. Dengan meminimalkan resonansi maka langkah-langkah perancangan yang dipilih selanjutnya akan memberikan hasil yang lebih baik.

Resonansi dapat diminimalkan melalui penggunaan material yang memenuhi karakteristik ideal, yaitu berat dan tebal tertentu, masif (tanpa lubang dan tanpa keberadaan bidang transparan), serta dipasang secara permanen. Sayangnya keadaan ideal ini sulit untuk dipenuhi secara bersamaan, baik karena alasan ketersediaan material maupun biaya. Penggunaan material bangunan yang berat karena alasan kekuatan dan keawetan, seperti bata, batako atau beton, sudah jamak digunakan dan tetap dapat menjadi pilihan yang sesuai untuk peredaman. Namun kini, karena alasan tren, banyak kita jumpai bangunan yang menggunakan material tipis dan transparan. Dari aspek fasad atau tampilan bangunan secara keseluruhan, penggunaan material ringan dan transparan ini memberikan kesan modern. Sayangnya material semacam ini kurang mampu meredam bunyi. Terlebih, dengan material transparan, pengguna akan memiliki pandangan secara langsung pada sumber kebisingan. Keadaan ini secara psikologis akan meningkatkan kesan adanya gangguan kebisingan.

Meski material tipis dan transparan tidak disarankan untuk digunakan sebagai peredam, namun aspek ketebalan dari suatu material tipis dapat diperoleh dengan penggunaan secara berlapis. Model pelapisan beberapa material tipis ini dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan melapiskan secara langsung, di mana antarlapisan bersentuhan, atau dengan menempatkan rongga udara di antara lapisan. Penempatan rongga udara di antara lapisan akan memberikan hasil peredaman atau penyerapan yang lebih baik dibanding model pelapisan tanpa rongga. Hal ini karena pelapisan material yang berbeda-beda, termasuk keberadaan rongga udara, berarti juga melapiskan kerapatan molekul yang berbeda-beda, yang mampu memaksimalkan prinsip refraksi. Refraksi adalah peristiwa pembiasan/penyimpangan sudut perambatan gelombang bunyi ketika menembus material yang berbeda-beda kerapatan molekulnya. Pada setiap terjadi penyimpangan/pembelokan gelombang bunyi ini, sebagian energi bunyi terserap di dalam material yang dilewatinya. Dengan demikian semakin banyak refraksi yang terjadi, semakin banyak energi bunyi yang diserap, dan hanya sedikit yang diteruskan ke balik bidang batas (tentang refraksi akan dibahas lebih rinci pada Bab IV).

Penggunaan bata merah, batako atau beton, secara teoretis sudah memenuhi aspek berat sebagai peredam bunyi yang cukup baik. Namun kemampuan redam material tersebut masih dapat

ditingkatkan melalui pelapisan material lain dengan rongga udara sebagai rongga antara. Pelapisan material tambahan ini dapat berupa material yang sama dari material utama ataupun material yang berbeda. Pelapisan dinding semacam ini juga dikenal dengan sebutan dinding ganda atau *doubled-wall.* Gambar 3.38 memberikan gambaran lebih jelas mengenai dinding ganda. Beberapa jenis dinding ganda yang banyak digunakan dapat dicermati pada Bab V.

Gambar 3.38 Pemasangan dinding ganda pre-pabrikasi dari material kayu olahan dan detil konstruksinya.

1. Faktor Perletakan

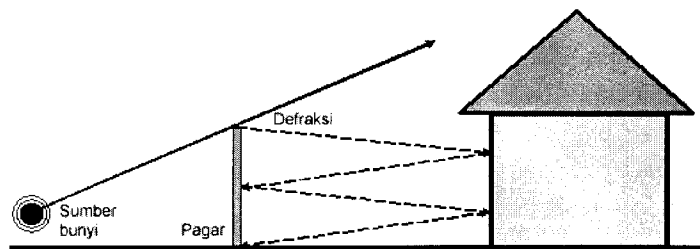
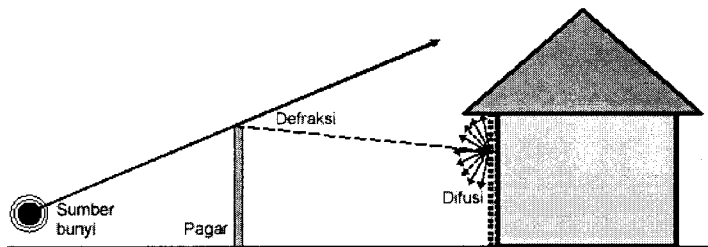
Sebagaimana pagar, dinding muka bangunan yang jauh dari pagar akan memberikan redaman bising yang lebih baik. Namun jika keadaan ini tidak dapat diterapkan, dinding depan yang dekat ke pagar akan memberikan redaman yang lebih baik dibanding jika jaraknya ke pagar hampir sama atau sama dengan jarak pagar dengan as jalan. Syaratnya, ketinggian pagar harus jauh melampaui ambang atas bukaan atau bidang tipis-transparan yang diletakkan pada dinding tersebut.

Pertimbangan selanjutnya yang selalu digunakan sebagai acuan ketika mengusahakan redaman bunyi adalah mencegah terjadinya resonansi oleh dinding. Resonansi dapat dicegah dengan perletakan dinding secara permanen, yaitu memasang dinding dengan fondasi pada kedalaman tertentu dengan material yang sesuai (misalnya batu kali). Posisi dinding akan semakin kuat bilamana dinding satu bertemu dinding lainnya sehingga membentuk sudut. Bila seluruh sisi dinding terikat kuat dan salah satu bagiannya terpendam dalam tanah, maka posisinya menjadi sangat stabil untuk dapat menerima imbas getaran. Hal ini tentu berbeda dengan dinding bermaterial tipis yang hanya dipaku pada beberapa titik pada sebuah rangka. Meski demikian, ketika getaran sumber bunyi sangat hebat atau jarak dinding ke sumber bunyi terlalu dekat maka dinding permanen sekalipun

sulit untuk menahan resonansi. Oleh karenanya pada bangunan yang dimungkinkan untuk menerima bunyi dan getaran semacam ini, langkah terbaik adalah mempersiapkan agar dinding tersebut mampu menyerap gelombang bunyi yang menyebabkan dinding mengalami resonansi.

2. **Faktor Berat dan Kerapatan Material**

Sebagaimana persyaratan pagar, dinding akan berhasil menjadi peredam jika memiliki berat yang mencukupi. Semakin tebal, berat, rapat, pampat tanpa celah dan cacat, maka fungsinya sebagai peredam akan semakin baik.

Material bangunan yang selama ini banyak digunakan di Indonesia untuk pembuatan dinding, seperti bata merah atau batako yang diplester sisinya, mampu menghasilkan dinding dengan permukaan keras dan halus. Permukaan semacam ini cenderung memantulkan kembali gelombang bunyi yang datang. Keadaan ini mencukupi bagi fungsi redaman yang hendak dicapai. Hasilnya akan lebih baik bila pantulan yang terjadi tidak hanya menuju satu arah, tetapi tersebar merata sehingga tingkat keras bunyi semakin menurun dan tidak dipantulkan kembali ke dinding oleh pagar (Gambar 3.39). Penggunaan permukaan yang kasar, bergelombang atau berlekuk mampu menyebarkan pantulan bunyi secara lebih merata (Gambar 3.40).

Gambar 3.39 Pemantulan bolak-balik dari pagar ke dinding muka bangunan akibat penggunaan material dengan sifat memantul yang kuat.

Gambar 3.40 Pemantulan terdifusi di dinding muka bangunan karena penggunaan material dengan sifat difus, energi bunyi tersebar merata.

Jika pada suatu keadaan dibutuhkan kemampuan redaman yang amat baik, namun berat dan kerapatan dinding tidak dapat ditambah, maka dapat digunakan dinding yang lebih tebal. Bangunan masa penjajahan Belanda merupakan contoh bangunan yang memiliki dinding dengan ketebalan dua kali lipat dinding masa kini. Dinding bangunan Belanda umumnya disebut dinding 1 bata/batu, sementara dinding masa kini adalah dinding ½ bata/batu. Penggunaan dinding tebal dapat meningkatkan kemampuan redam, dan kemampuannya akan meningkat bila di dalam dinding itu ditempatkan rongga udara (Gambar 3.38). Semakin tebal rongga udara yang tersedia, kemampuan redamnya akan semakin baik. Namun kebutuhan luas ruang dan kekuatan konstruksi tentu membatasi tebal rongga udara itu. Pada bangunan-bangunan tanpa fungsi khusus untuk aktivitas akustik (tidak berfungsi sebagai studio dan semacamnya) tebal rongga udara yang efektif berkisar pada 25 cm. Untuk memperoleh redaman yang lebih baik juga dapat ditambahkan material pengisi rongga udara. Material yang ditambahkan biasanya berupa selimut akustik yang terbuat dari serat kaca (*glass-wool*). Cermati Gambar 3.41.

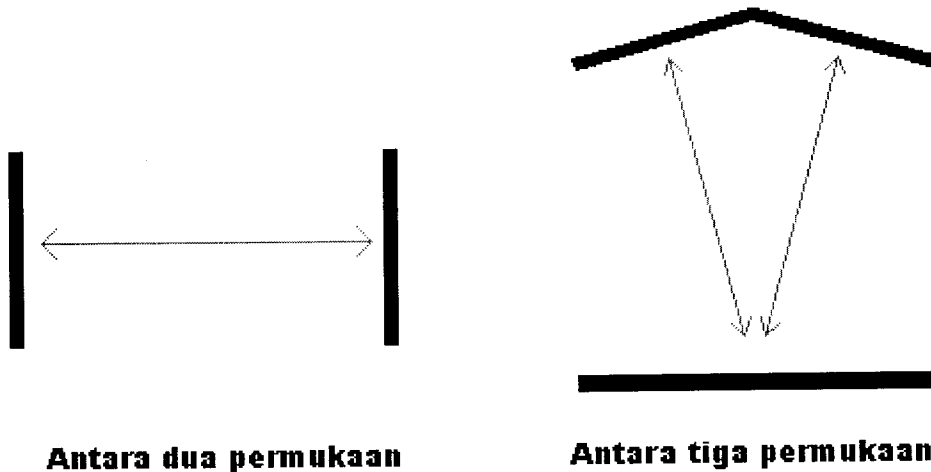
Gambar 3.41 Pemasangan *glasswool* pada rongga antara dua lapisan dinding.

Penggunaan dinding berlapis, disebut juga dinding ganda, adalah penerapan prinsip refraksi. Meski tidak begitu signifikan, terjadinya refraksi akan mengurangi kekuatan gelombang bunyi dalam merambat. Semakin bermacam jenis material yang digunakan untuk membuat dinding ganda (yang berarti semakin beragam kerapatan molekulnya), maka akan semakin maksimal penerapan refraksi, sehingga perambatan bunyi semakin

lemah. Oleh karena itu penggunaan dinding ganda dengan kombinasi material seperti bata merah, rongga udara, selimut akustik, papan kayu dan karpet tebal atau material lunak lain sebagai *finishing* akan menjadi peredam yang amat baik. Dinding ganda semacam ini lebih mampu dalam meredam getaran (resonansi), karena prinsip refraksi diterapkan secara maksimal. Penggunaan lapisan dinding dari material yang berbeda-beda menyebabkan imbas getaran dapat dikurangi secara maksimal karena perbedaan frekuensi masing-masing material yang digunakan yang menghambat terjadinya resonansi.

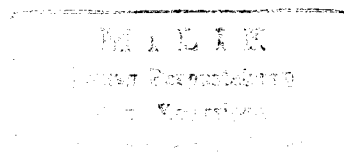
Secara teoretis penempatan celah hampa udara di antara lapisan material yang digunakan sebagai dinding dapat menjadi pilihan ampuh untuk meredam perambatan gelombang bunyi, karena bunyi tidak dapat merambat pada ruang hampa. Namun demikian keadaan hampa udara tidak dapat terpelihara ketika ada kemungkinan terbentuk celah/retak oleh muai-susut material yang melingkupinya.

3. Faktor Material Bangunan

Penggunaan material bangunan yang tebal, berat, dan masif (non-transparan, tanpa cacat/celah/retak) akan memberikan kemampaun redam maksimal bila dibanding penggunaan meterial yang tipis, ringan, dan transparan. Adapun material yang masuk dalam golongan pertama dan paling banyak digunakan dewasa ini adalah batu bata, batako dan beton. Material semacam ini memiiki kemampuan redam atau insulasi berkisar 40 dB sampai 55 dB. Bila material ini digunakan secara tunggal maka kemampuan redamnya dapat dianggap mencukupi. Namun pada kenyataannya, dinding bangunan tidak dapat dibuat tebal-berat-masif secara keseluruhan mengingat ada aspek pengudaraan, pencahayaan dan estetika yang dipertimbangkan. Hal ini terutama dijumpai pada dinding muka bangunan yang umumnya dipergunakan untuk menampilkan citra bangunan secara keseluruhan. Pada dinding muka bangunan banyak dijumpai penggunaan material kaca, baik permanen maupun yang dapat dibuka-tutup, untuk memenuhi aspek pengudaraan, pencahayaan dan estetika. Meskipun penempatan bidang bukaan atau bidang transparan pada dinding muka bangunan bertentangan dengan prinsip redaman bunyi yang menyarankan penggunaan material bangunan yang tebal-berat-masif, namun hal itu tetap tidak dapat dihindari. Oleh karenanya sebelum diterapkan, ada baiknya bila kemampuan redam yang hendak diperoleh ketika kita mengombinasikan penggunaan material tebal-berat-masif dengan tipis-ringan-transparan dihitung terlebih dahulu. Melalui simulasi penghitungan redaman kombinasi kita dapat menempatkan model dan dimensi bidang tipis yang tepat, sesuai dengan kebutuhan redaman pada tiap-tiap dinding. Tata cara penghitungan redaman kombinasi dinding akan dibahas kemudian.

Gambar 3.42 Fenomena pemantulan berulang atau *flutter echoes* dapat menimpa dua permukaan atau tiga permukaan.

4. Faktor Keadaan Permukaan

Selain mengusahakan agar dinding bangunan tidak mengalami resonansi, langkah selanjutnya yang dapat ditempuh adalah merancang dinding bangunan untuk memantulkan bunyi. Dinding dengan penyelesaian permukaan yang keras dan licin secara teoretis mampu melakukan tugas ini. Hal ini mudah dicapai karena material bangunan yang banyak digunakan untuk dinding dan penyelesaiannya adalah material yang keras dan kuat, agar sekaligus tahan terhadap cuaca. Baik dinding bata merah, batako, kayu lapis atau kaca (material bangunan yang dewasa ini banyak digunakan) merupakan material bangunan yang memiliki kemampuan pantul cukup baik. Adapun daya pantul tiap material umumnya tidak ditunjukkan secara langsung dengan koefisien pantul, namun justru diwakili oleh koefisien serap. Dengan asumsi bahwa material yang memiliki kemampuan pantul yang baik adalah yang memiliki koefisien serap rendah.

Meski pemantulan dapat menjadi pilihan untuk mengatasi perambatan gelombang bunyi ke dalam bangunan, namun yang disarankan untuk digunakan adalah jenis pemantulan tersebar, agar tidak terjadi akumulasi bunyi atau penumpukan tingkat keras bunyi. Keadaan ini akan memburuk bila bangunan yang saling berhadapan menerapkan sistem pemantulan pada dinding muka bangunan, sehingga jalur jalan yang diapit jajaran bangunan akan menjadi koridor yang mengalami *flutter echoes* (Gambar 3.42). Hal ini tentu akan secara nyata meningkatkan kebisingan yang sudah ada sebelumnya. Bila karena suatu pertimbangan pemantulan gelombang bunyi masih tetap menjadi pilihan dan permukaan

difus tidak dapat diterapkan, maka keadaan ini dapat sedikit diperbaiki dengan jalan menyelesaikan permukaan dinding agar tidak tegak 100% sehingga pemantulan bunyi yang bolak-balik dapat dikurangi.

5. **Redaman Kombinasi pada Dinding**

Sebagaimana dipaparkan sebelumnya, penggunaan dinding kombinasi material berat-tebal-masif dengan material ringan-tipis-transparan telah menjadi kebutuhan dan jamak digunakan. Penempatan material ringan-tipis-transparan pada dinding ditujukan untuk pertukaran udara dan pencahayaan alami. Penempatan material ringan-tipis-transparan akan menurunkan kemampuan redam dinding berat-tebal-masif. Oleh karenanya, simulasi penghitungan insulasi kombinasi pada dinding bangunan disarankan untuk dilakukan sebelum bangunan didirikan. Langkah ini akan memberikan keuntungan diperolehnya kemampuan insulasi dinding yang sesuai kebutuhan, meskipun pada sebagian dinding tersebut ditempatkan material tipis-ringan transparan. Adapun langkah-langkah penghitungannya adalah sebagai berikut:

a. Tentukan kemampuan insulasi material tebal-berat masif, melalui ketentuan:
   - Dinding bata ekspos (ketebalan ±12 cm) kemampuan insulasi 42 dB
   - Dinding bata plester kedua sisi (ketebalan ±15 cm) kemampuan insulasi 45 dB
   - Dinding beton (ketebalan ± 20 cm) kemampuan insulasi 55 dB.

b. Tentukan kemampuan insulasi meterial tipis-ringan-transparan, melalui Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Kemampuan redaman material ringan-tipis-transparan pada bangunan

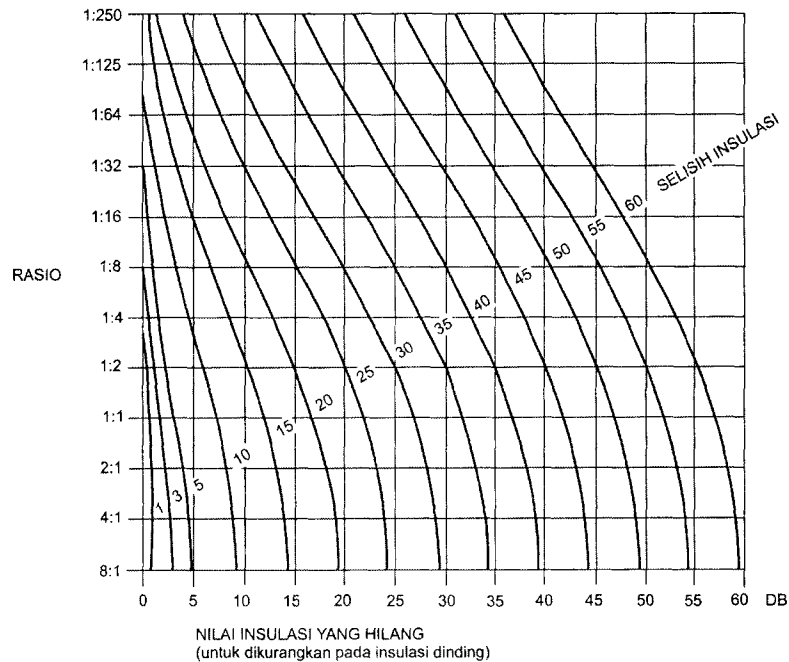
NO.	Model dan Material Jendela	Nilai Redaman pada frekuensi dinormalkan
1.	Semua jendela terbuka	5-15 dB*
2.	Jendela kaca mati tebal kaca 3 mm	24 dB
3.	Jendela kaca mati tebal kaca 4 mm	25 dB
4.	Jendela kaca mati tebal kaca 6 mm	28 dB
5.	Jendela kaca mati tebal kaca 12 mm	33 dB
6.	Jendela kaca mati kaca dobel tebal 4 mm jarak antar kaca 20 cm	40 dB

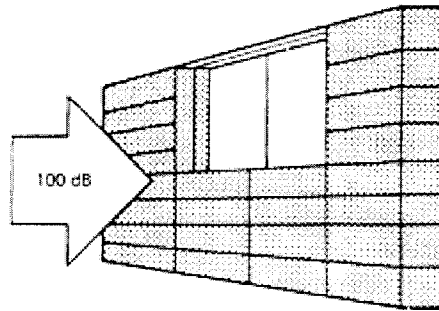
NO.	Model dan Material Jendela	Nilai Redaman pada frekuensi dinormalkan
7.	Jendela kaca mati kaca dobel tebal 6 mm jarak antar kaca 20 cm	42 dB
8.	Jendela kaca dobel namun ada bagian terbuka (seperti jendela *bovenlict*)	15 dB

* Nilai insulasi jendela terbuka berbeda-beda sesuai dengan posisi orang di dalam ruangan terhadap jendela tersebut, semakin dekat, semakin kecil nilai insulasinya. Secara umum, untuk jendela terbuka dapat dipakai nilai insulasi 12 dB

c. Selanjutnya tentukan selisih redaman antara kedua material tersebut.

d. Tentukan luasan bidang tipis-ringan-transparan, juga luasan metarial tebal-berat-masif, dan kemudian bentuklah rasio dari dua luasan yang berbeda tersebut.

e. Gunakan grafik pada Gambar 3.43 untuk mencari angka redaman yang hilang/turun dari material tebal-berat-masif.

Gambar 3.43 Grafik untuk menentukan nilai redaman atau insulasi yang hilang dari material berat-tebal-masif yang dikombinasikan dengan material ringan-tipis-transparan.

Sebagai contoh adalah kasus berikut ini (Gambar 3.44): Dinding yang menghadap langsung ke kebisingan berdimensi (3 x 4) m^2. Pada dinding tersebut terdapat jendela kaca untuk *view* berdimensi (1 x 2) m^2. Bila untuk jendela digunakan kaca setebal 4 mm dan dinding masifnya terbuat dari bata plester 2 sisi, maka bila kebisingan di luar ruang 100 dB, berapa dB-kah kebisingan yang dapat diredam oleh dinding kombinasi bata plester dan kaca tersebut?

Gambar 3.44 Contoh kombinasi antara material berat-tebal-masif dengan material ringan-tipis-transparan pada dinding

Penyelesaiannya adalah sebagai berikut:

Luas keseluruhan dinding dengan material berat-tebal-masif adalah $10m^2$ dan material ringan-tipis-transparan adalah 2 m^2, sehingga rasionya adalah 2:10 atau 1:5. Selisih redaman kedua material adalah (Lihat Tabel 3.3): 45 dB – 25 dB = 20 dB. Letakkan selisih redaman dan rasio pada diagram. Diperoleh angka redaman yang hilang/turun dari redaman bata plester adalah 13 dB sehingga redaman kombinasi kedua material adalah: 45 dB – 13 dB = 32 dB. Bila kebisingan yang hedak diredam adalah 100 dB, maka tingkat kebisingan di balik dinding adalah 100 dB – 32 dB = 68 dB.

BAGIAN II
PENGENDALIAN BUNYI DI DALAM RUANG

Bab IV Perilaku Bunyi di dalam Ruang

Bab V Pengendalian Kualitas Bunyi di dalam Ruang

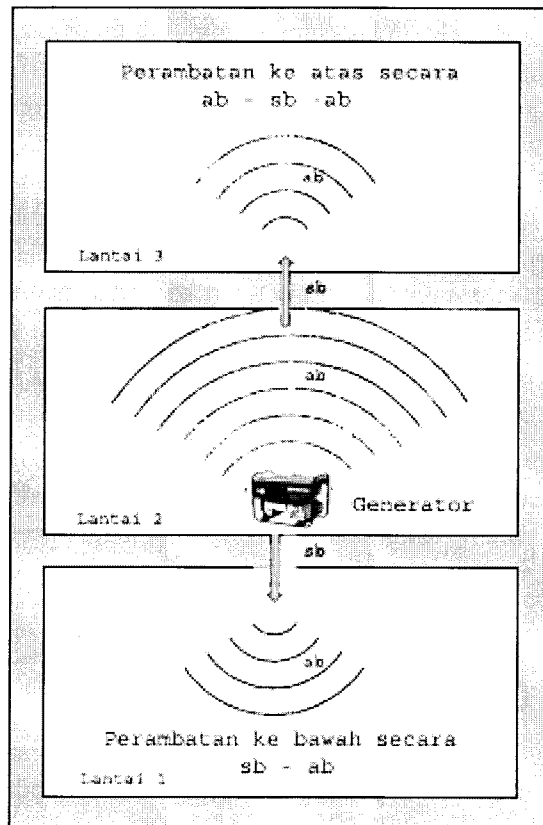
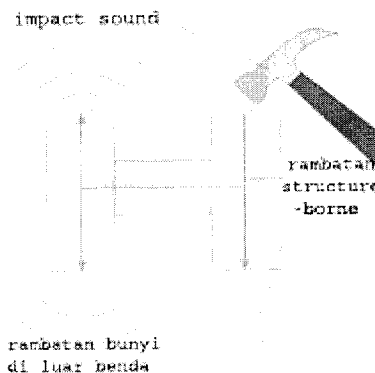
BAB IV
PERILAKU BUNYI DI DALAM RUANG

Pengendalian kualitas bunyi di dalam ruang dengan mempertimbangkan detil perancangan ruang dan penggunaan material khusus seyogyanya diawali dengan pemahaman akan perilaku perambatan bunyi di dalam ruang. Pada ruang terbuka, bunyi yang dihasilkan suatu sumber bunyi yang bergetar akan merambat ke segala arah. Perambatan bunyi ke segala arah ini dapat diumpamakan sebagai sebuah bola. Posisi sumber bunyi diumpamakan sebagai pusat bola dan arah perambatan dengan jarak tertentu dari pusat bola adalah jari-jari bola. Semakin kuat bunyi yang dihasilkan oleh sumber bunyi, semakin besar volume bola yang terjadi. Semakin mendekati kulit bola, kekuatan bunyi semakin lemah. Sebaliknya, semakin mendekati pusat bola, bunyi semakin kuat. Singkatnya, pada ruang terbuka, semakin jauh jarak seseorang dari sumber bunyi, semakin lemah tingkat keras bunyi yang dapat didengarkan. Sementara itu keadaan di dalam ruangan tidak selalu demikian. Ada kalanya pendengar pada jarak yang lebih jauh dari sumber bunyi justru mendengar bunyi lebih keras dari pendengar yang jaraknya lebih dekat. Hal ini karena terjadinya perkuatan bunyi oleh elemen-elemen yang membatasi ruangan.

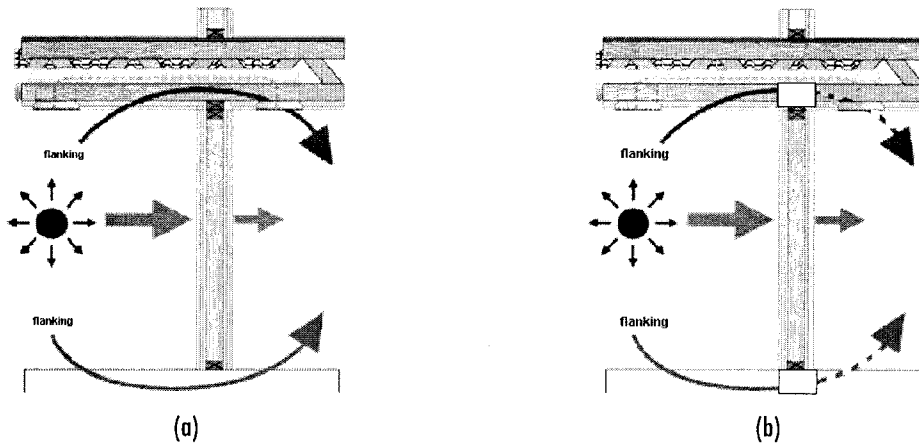
Proses perambatan gelombang bunyi pada ruang tertutup tidak sama dengan yang terjadi pada ruang terbuka. Bidang-bidang yang membatasi ruangan, seperti dinding, lantai dan plafon menyebabkan proses perambatan gelombang bunyi ke segala arah mengalami pembatasan. Bergantung pada karakteristik bidang pembatas dan jenis frekuensi bunyi yang terjadi, maka bunyi yang merambat di dalam ruang akan mengalami berbagai peristiwa, seperti pemantulan (refleksi), pemantulan menyebar (difusi), penyerapan (absorpsi), pembelokan (difraksi), dan pembiasan (refraksi) seperti dipaparkan berikut ini.

4.1 Perambatan Gelombang Bunyi

Sebelum mempelajari lebih dalam mengenai peristiwa-peristiwa yang terjadi ketika gelombang bunyi merambat di dalam ruangan, penting kiranya untuk terlebih dahulu memahami cara perambatan gelombang bunyi itu sendiri. Kita mengenal tiga wujud benda, yaitu gas, cair dan padat. Ketiga wujud inilah yang menjadi perantara merambatnya gelombang bunyi dari sumber ke penerima. Namun demikian karena secara umum kehidupan manusia tidak dilingkupi oleh zat cair maka perambatan gelombang bunyi melalui zat cair tidak akan dibahas lebih lanjut.

Udara adalah medium perambatan gelombang bunyi yang paling banyak kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Perambatan gelombang bunyi melalui udara disebut perambatan secara *airborne*, yaitu ketika getaran yang dialami sumber bunyi menyentuh molekul-molekul udara yang ada di sekitarnya. Saat getaran molekul udara terus berjalan dan mengenai bidang pembatas yang terbuat dari zat padat, maka bergantung pada karakteristik bidang pembatas dan kekuatan bunyi yang merambat, dimungkinkan molekul udara menyentuh dan menggetarkan molekul yang menyusun zat padat pembatas. Bila molekul bidang pembatas juga ikut bergetar maka akan terjadi perambatan yang disebut perambatan secara *structureborne* (Gambar 4.1). Istilah *structure* pada ulasan ini tidak selalu diartikan sebagai struktur bangunan, namun dapat dianggap sebagai peristiwa perambatan bunyi melalui zat padat.

Gambar 4.1 Proses perubahan medium perambatan dari suatu sumber *impact sound*(misal: generator), pada bangunan berlantai banyak. *Structureborne* = sb dan *airborne* = ab.

Gambar 4.2 Sumber bunyi berupa *impact sound*, seperti pukulan palu pada dinding, merambat secara *structureborne* dan *airborne.*

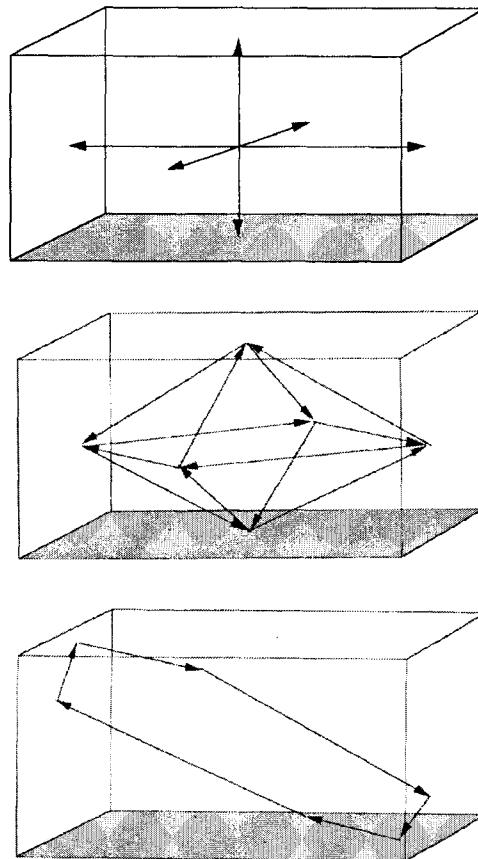
Pada contoh-contoh yang dikemukakan sebelumnya, sumber bunyi berada pada jarak tertentu dari benda padat (dapat dianggap berada di udara/ tidak menempel pada benda padat). Sangat dimungkinkan kita juga menjumpai keadaan ketika sumber bunyi berada pada/mengenai benda padat tersebut. Sebagai contoh ketukan palu pada dinding atau langkah kaki yang menghentak-hentak lantai. Sumber bunyi semacam ini disebut *impact sound* (Gambar 4.2). Bergantung pada tingkat kekuatan sumber bunyi dan karakteristik bidang pembatas, perambatan gelombang bunyi dapat mengalami perubahan, dari perambatan secara *airborne* menjadi *structureborne*, kemudian menjadi *airborne* lagi, atau sebaliknya (Gambar 4.1). Secara umum perambatan secara *airborne* dapat diredam oleh material dengan kemampuan redam lebih rendah bila dibanding tingkat redaman yang dibutuhkan untuk menahan bunyi yang merambat secara *structureborne* (McMullan, 1992).

Pada perambatan secara *structureborne*, sangat dimungkinkan bunyi merambat secara merayap di sepanjang pembatas untuk berubah menjadi perambatan secara *airborne*. Perambatan semacam ini sangat dipengaruhi oleh keberadaan celah atau homogenitas kerapatan material yang rendah (ada bagian material yang lebih rapat dan ada yang lebih renggang) dan disebut sebagai *flanking transmission* (Gambar 4.3). Perambatan secara *flanking* dapat dikurangi dengan menggunakan material bangunan yang berbeda-beda.

Gambar 4.3 Perambatan secara *flanking*, gelombang bunyi merayap di dalam material solid konstruksi bangunan menuju ke ruang lain. Perambatan *flanking* dapat dicegah/dikurangi melalui penempatan material peredam pada titik pertemuan bidang batas.

4.2 Pemantulan

Dalam kehidupan sehari-hari yang selama ini kita pahami, ketika perjalanan suatu objek terhalang oleh bidang pembatas, maka besar kemungkinan objek tersebut akan terpental atau terpantul. Kecepatan perjalanan/perambatan dan karakterstik bidang pembatas (kepadatan/ tingkat keras, bentuk, tingkat kehalusan permukaan) akan menentukan besar dan arah pantulan. Pada kasus gelombang bunyi, kecepatan perambatan juga menunjukkan frekuensi gelombang bunyi tersebut. Setiap material bidang pembatas memiliki kemampuan pantul dari yang nilainya kecil (kemampuan pantul mendekati 0), sampai yang besar (mendekati 1). Kemampuan pantul dihitung dari banyaknya energi bunyi yang dipantulkan, dibandingkan keseluruhan energi bunyi yang mengenai permukaan tersebut.

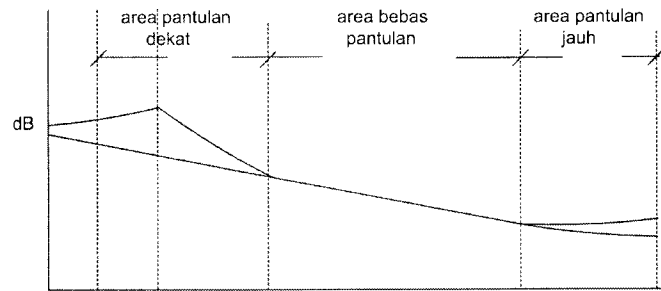
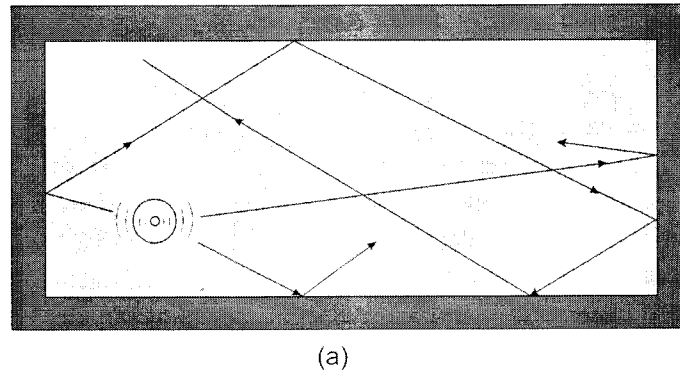
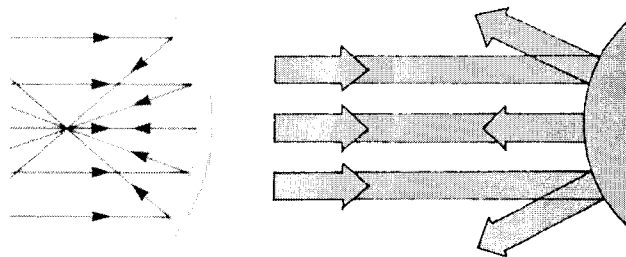
Terjadinya pemantulan di dalam ruang tertutup dapat dimanfaatkan untuk tujuan menyebarkan gelombang bunyi secara merata dan menambah tingkat keras bunyi. Meski demikian peristiwa pemantulan ini harus diolah sedemikian rupa untuk mendapatkan hasil yang memuaskan. Jika tidak maka pemantulan yang terjadi justru akan merusak kualitas bunyi di dalam ruang. Pemantulan oleh bidang-bidang batas yang membentuk ruangan dapat dibedakan menjadi 3, yaitu yang bersifat aksial, tangensial dan obliq (*axial*, *tangential* dan *oblique*). Pemantulan aksial adalah jenis pemantulan yang sebaiknya dihindari karena merupakan pantulan bolak-balik yang mengganggu. Pada pemantulan aksial, gelombang bunyi mengenai permukaan dan segera

dipantulkan kembali dengan kuat ke permukaan yang tepat sejajar berada di depannya. Sebagai contoh, pemantulan berulang antara lantai dan plafon yang mendatar atau antara dinding yang saling berhadapan. Sementara pada pemantulan tangensial dan obliq, pantulan tidak dikembalikan ke arah yang berlawanan 180°, namun ke permukaan yang bersisian. Pada tangensial pemantulan terjadi secara horizontal dan menyentuh empat elemen pembatas ruangan, sementara pada obliq pemantulan terjadi secara meruang dan menyentuh keenam bidang pembatas ruang (Gambar 4.4). Pemantulan tangensial dan obliq dapat menimbulkan kualitas bunyi yang rendah bagi pendengar yang ada di sekitar sudut ruangan. Keadaan ini dapat diperbaiki dengan penempatan objek berbentuk kolom bulat atau yang disebut *tubestrap* (Gambar 4.5).

Gambar 4.4 Dari atas ke bawah: pemantulan aksial, pemantulan tangensial, dan pemantulan obliq.

Gambar 4.5 Penempatan kolom bulat pada sudut untuk mencegah terjadinya pantulan berulang pada sudut.

Pemantulan aksial harus dihindari karena dapat menimbulkan cacat akustik pada ruangan yang disebabkan jarak tempuh pantulnya yang terlalu jauh. Pantulan yang terjadi pada bidang-bidang yang dekat dengan sumber bunyilah yang lebih bermanfaat untuk tujuan penyebaran bunyi, sementara bidang batas yang jaraknya jauh dari sumber bunyi pada umumnya akan menimbulkan pantulan yang mengganggu, menyebabkan ketidakjelasan bunyi (Gambar 4.6). Pada permukaan mendatar, bunyi yang datang akan dipantulkan dengan mengikuti hukum, besarnya sudut pantul = sudut datang. Pada permukaan berbentuk cembung, bunyi akan dipantulkan secara tersebar. Sementara pada permukaan cekung bunyi akan dipantulkan terpusat (Gambar 4.7).

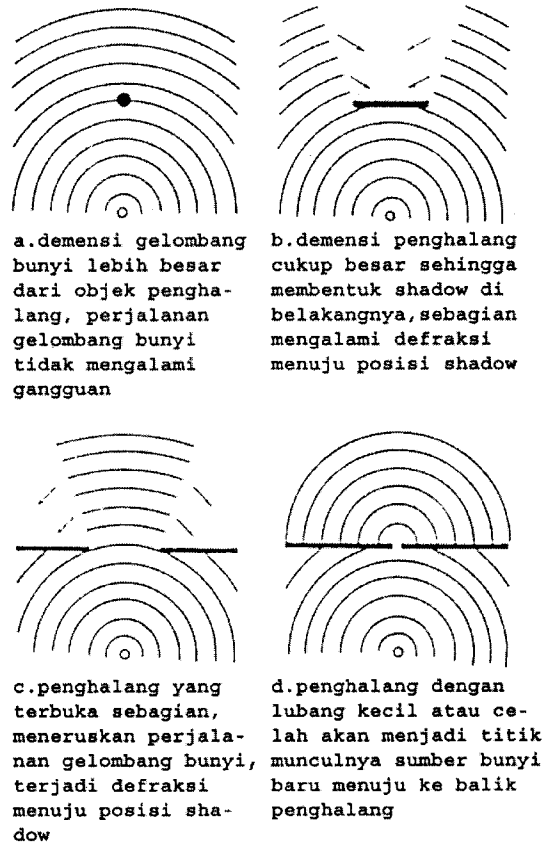
(a)

(b)

Gambar 4.6 Jenis-jenis pemantulan yang terjadi pada suatu ruangan. Pada area pantulan jauh, pendengar akan menerima ketidak-jelasan bunyi karena pemantulan tunda yang diterimanya bertumpuk dengan bunyi langsung.

Gambar 4.7 Pemantulan pada permukaan cekung dan cembung.

4.3 Penyerapan

Selain terjadinya gelombang bunyi yang terpental atau terpantul oleh karena adanya bidang pembatas, pada suatu keadaan tertentu, bidang pembatas dapat juga menyerap sebagian energi bunyi yang datang. Penyerapan yang terjadi oleh bidang pembatas sangat bergantung pada keadaan permukaan bidang pembatas (kerapatan/kepadatan) dan jenis frekuensi bunyi yang datang. Semua material yang digunakan sebagai pembatas memiliki kemampuan menyerap, meski besarnya berbeda-beda. Kemampuan serap material ditentukan oleh koefisien serap (absorpsi), yaitu banyaknya energi bunyi yang diserap dibandingkan keseluruhan energi bunyi yang mengenai pembatas. Energi bunyi yang diserap akan berubah menjadi kalor di dalam material tersebut, meski kalor yang terjadi itu tidak dapat dirasakan melalui rabaan tangan secara langsung, karena energi yang dimiliki gelombang bunyi sangat kecil (sebagai contoh energi bunyi manusia yang berteriak hanya berkisar 1mWatt saja). Meski secara teoretis koefisien serap material berada pada angka 0 s/d 1 (nilai 0 untuk material yang sama sekali tidak menyerap dan nilai 1 untuk yang sangat menyerap). Namun pada praktiknya hampir semua material bangunan memiliki kemampuan serap, bahkan kaca yang dianggap sebagai material keras dan berpermukaan halus sekalipun, memiliki koefisien serap sebesar 0,07 (pada frekuensi 2000 Hz), dan terus membesar untuk frekuensi yang lebih rendah. Berbagai karakteristik material penyerap akan dipaparkan pada bab selanjutnya.

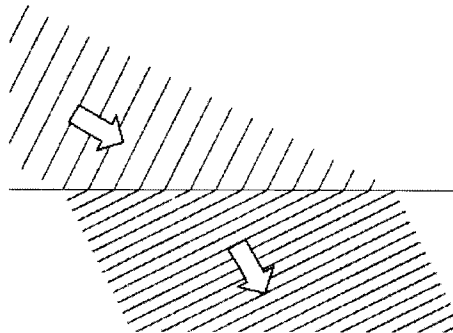
4.4 Defraksi

Ketika rambatan gelombang bunyi mengenai ujung bidang pembatas maka gelombang bunyi akan membelok melewati ujung pembatas tersebut menuju ruangan yang ada di balik pembatas. Peristiwa ini disebut dengan difraksi (Gambar 4.8). Kemampuan gelombang bunyi untuk terdefraksi menyebabkan dimensi bidang pembatas dan sisa celah yang terbentuk dari bidang pembatas tersebut menjadi bahan pertimbangan penting ketika merancang pembatas untuk menahan perambatan gelombang bunyi.

Gambar 4.8 Defraksi gelombang bunyi.

4.5 Refraksi

Jika sebelumnya telah dikemukakan mengenai terjadinya peristiwa pemantulan dan penyerapan gelombang bunyi ketika mengenai bidang pembatas maka bidang pembatas yang sama juga dimungkinkan mampu meneruskan gelombang bunyi tersebut. Itu berarti setiap material yang digunakan sebagai pembatas dimungkinkan untuk memberikan tiga perlakukan sekaligus, yaitu memantulkan sebagian gelombang bunyi yang datang, menyerap sebagian dan meneruskan (mentransmisikan) sebagian sisanya. Besarnya proporsi masing-masing perlakuan ini sangat bergantung pada frekuensi bunyi yang datang dan karekateristik bidang pembatas (kerapatan/kepadatan permukaan serta berat dan ketebalan material).

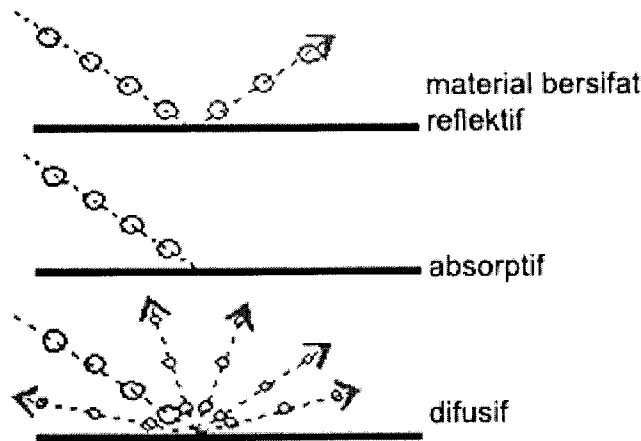
Kemampuan pembatas dalam memantulkan, menyerap, dan mentransmisikan ditunjukkan oleh koefisien pantul, serap, dan transmisi. Nilai total ketiga koefisien ini pada setiap jenis material adalah 1 atau 100%. Sebagai contoh, material x memiliki koefisien serap 0,7, koefisien pantul 0,2, maka koefisien transmisi adalah 0,1. Meski setiap material memiliki 3 koefisien, namun yang jamak digunakan untuk analisis atau perhitungan adalah koefisien serap.

Jika sebagian energi bunyi ada yang diteruskan atau ditransmisikan, maka pada saat melewati material pembatas tersebut, gelombang bunyi akan mengalami peristiwa refraksi, yaitu peristiwa membias/membeloknya arah perambatan gelombang bunyi karena melewati material yang berbeda kerapatannya (Gambar 4.9). Sebagai contoh, mulanya bunyi merambat melalui medium udara, kemudian membentur bidang pembatas yang merupakan benda padat, selanjutnya menembus pembatas menuju ruang di balik pembatas. Gelombang bunyi akan mengalami pembiasan ke bawah ketika perjalanannya berpindah dari medium yang memiliki molekul lebih renggang menuju medium yang molekulnya lebih padat. Sebaliknya akan mengalami pembiasan ke atas ketika berpindah dari molekul yang rapat menuju ke molekul yang renggang.

Gambar 4.9 Refraksi atau pembiasan rambatan gelombang bunyi ketika melewati material dengan kerapatan molekul yang berbeda-beda. Ketika melalui molekul yang lebih rapat, gelombang bunyi akan membias ke bawah dan sebaliknya.

4.6 Difusi

Difusi adalah peristiwa yang dialami gelombang bunyi ketika membentur bidang pembatas yang memiliki kecenderungan memantul (bepermukaan padat dan keras), namun memiliki permukaan yang tidak halus. Ketidak-halusan permukaan bidang pembatas ini dapat berupa permukaan yang kasar, bergelombang, bergerigi, dlsb. Pemantulan yang menimbulkan difus disebut *difuser* atau *difusor*. Difuser yang baik akan menyebarkan gelombang bunyi yang datang secara merata pada area dengan jangkauan sebesar 180° di depannya (Gambar 4.10).

Selain menggunakan material yang menyerap, peristiwa difusi umumnya juga dimanfaatkan untuk memperbaiki pemantulan yang tidak dikehendaki di dalam ruangan. Difuser bekerja dengan mencegah terjadinya pengelompokan bunyi sehingga tidak ada area di dalam ruang di mana orang akan mendengar pantulan terlalu kuat atau sama sekali tanpa pantulan, tetapi tersebar secara merata. Difuser tidak saja menyebarkan bunyi secara merata, namun perbedaan besar sudut pantul dan jarak tempuh dari sumber bunyi ke permukaan difuser juga akan menimbulkan perbedaan waktu pantul, meski sangat minim. Hal ini akan menimbulkan sensasi bunyi yang terkesan lebih mantap. Difusi terjadi dengan baik pada bunyi frekuensi tinggi, namun kurang pada frekuensi rendah. Bunyi frekuensi rendah yang memiliki kecenderungan menimbulkan ketidak-jelasan bunyi sebaiknya tidak dipantulkan kembali ke ruangan namun diserap. Penempatan lapisan penyerap yang berkarakteristik padat (tidak lunak) di belakang difuser dapat menyerap bunyi-bunyi frekuensi rendah yang mengenai permukaan difuser.

Difusi yang terjadi pada suatu ruangan mampu menciptakan sensasi bunyi pada ruang yang kecil/sempit, serasa ada pada ruang yang lebih besar dan bunyi pada ruang yang besar serasa di dalam ruangan yang makin besar, namun tetap dengan tingkat akurasi yang tinggi, karena energi bunyi yang terjadi dalam ruangan tetap sama besarnya, hanya dalam kondisi tersebar merata.

Gambar 4.10 Perbedaan perlakuan terhadap gelombang bunyi yang datang yang diberikan oleh permukaan reflektif, absorptif, dan difusif.

BAB V
PENGENDALIAN KUALITAS BUNYI DI DALAM RUANG

Untuk alasan kesehatan dan kenyamanan penghuni, semua bangunan perlu menerapkan siasat perancangan guna menekan masuknya kebisingan. Hal ini tidak saja ditujukan pada bangunan publik dengan persyaratan akustik tingkat tinggi, seperti gedung pertunjukan atau studio musik, namun juga berlaku bagi bangunan yang berfungsi domestik seperti rumah tinggal.

Perbedaan fungsi bangunan yang disertai dengan perbedaan kebutuhan tingkat penyelesaian akustik suatu bangunan, menyebabkan kebutuhan untuk meredam kebisingan tidak selalu datang bersamaan dengan kebutuhan peningkatan kualitas bunyi di dalam ruang. Sebagai contoh, pada bangunan yang memiliki fungsi domestik seperti rumah tinggal, ketika kebisingan yang menyusup ke dalam bangunan ini dapat diatasi atau dikurangi, maka peningkatan kualitas bunyi di dalam bangunan dianggap tidak diperlukan. Hal ini mungkin benar adanya, khususnya pada rumah tinggal yang tidak memiliki ruangan dengan fungsi audiovisual secara khusus, misalnya *home theatre.*

Pada pembahasan kualitas bunyi di dalam ruang seringkali digunakan istilah "akustik". Istilah akustik dalam buku ini mengarah pada usaha-usaha yang ditempuh untuk peningkatan kualitas bunyi agar penyebarannya merata, jelas dan bulat atau mantap. Peningkatan kualitas bunyi di dalam ruang dibutuhkan oleh bangunan, baik dengan fungsi audio saja atau fungsi audio dan visual. Sebagai contoh, ruang laboratorium bahasa, studio musik, *home theatre*, bioskop, ruang pertemuan, auditorium, ruang ibadah, dll. Pada laboratorium bahasa dan studio musik, fungsi audio sangat dominan, sementara pada beberapa contoh berikutnya fungsi audio dan visual muncul bersamaan.

Seiring perkembangan zaman, ketika peralatan audio-visual mampu menghasilkan kualitas bunyi yang amat baik, sering terjadi salah pengertian bahwa faktor perancangan ruang menjadi kurang penting. Bagaimanapun kualitas yang dihasilkan peralatan audio-visual tidak akan maksimal tanpa dukungan perancangan ruang secara akustik. Untuk mencapai kualitas bunyi yang dibutuhkan, pertimbangan penggunaan material bangunan beserta faktor-faktor lainnya amat penting untuk diperhatikan.

Kesadaran masyarakat akan pentingnya kualitas bunyi di dalam ruang kini semakin tinggi. Orang sudah mulai mengeluhkan rendahnya penataan bunyi pada fasilitas publik, seperti dapat dicermati pada Gambar 5.1.

KOMPAS, SABTU, 10 JANUARI 2009

Suara Pengumuman di Bandara Makassar Bergaung

Pada pertengahan Desember 2008 saya transit di Bandara Makassar yang baru. Gedungnya cukup besar, terletak di tengah hamparan kawasan bandara yang cukup luas. Secara sepintas, arsitektur interiornya cukup modern dengan perlengkapan dan tatanan bandara yang memadai. Ini kesan ketika berada di ruang tunggu karena transit, jadi kesan di luar tidak saya ketahui.

Namun, ketika mendengar pengumuman yang disampaikan pihak bandara, hampir di seluruh lokasi di area ruang tunggu keberangkatan suara yang terdengar benar-benar amburadul, tidak jelas, serta membingungkan. Saya tanyakan sambil mengeluh kepada petugas yang ada di sekitar lokasi dan dijawab bahwa sudah banyak calon penumpang yang menyampaikan serta mengeluhkan hal itu dan sudah disampaikan kepada manajemen, tetapi tindak lanjutnya tidak ada.

Siapa dan dari perusahaan mana yang merancang sarana *sound system* untuk keperluan pengumuman tersebut? Apakah pihak pengelola bandara memiliki pemahaman yang memadai tentang hal tersebut? Apa kriteria yang dipakai dalam menentukan pemilihan dan penempatan *speaker*? Apakah setelah diinstalasi, pada sistem tersebut dilakukan pengujian yang menunjukkan ketercapaian dari instalasi rancangan dengan hasil fisik lapangan?

Mengingat ruangan yang cukup besar dengan material permukaan interior yang umumnya bersifat keras, maka cacat akustik ruangan berupa dengung *echo* tidak bisa dihindari. Hal ini seharusnya sudah diperhitungkan oleh perencana. Sebagai penumpang yang melewati bandara ini, saya dan juga mungkin sekian banyak calon penumpang lain merasa dirugikan dan terganggu akibat kondisi tersebut. Karena bandara dan seluruh sistem pendukungnya masih baru, mudah-mudahan masih ada kesempatan untuk memperbaikinya.

I GDE NYOMAN MERTHAYASA
Jalan Puyuh, Coblong, Bandung

Gambar 5.1 Keluhan masyarakat mengenai kualitas bunyi pada bangunan publik.

Perbaikan kualitas bunyi dalam ruangan ditentukan oleh faktor-faktor berikut:

1. tingkat kebisingan latar belakang yang sesuai baku.
2. penyebaran bunyi secara merata dalam tingkat keras dan kejelasan yang cukup.
3. waktu dengung yang sesuai.
4. ketiadaan gema atau gaung.

Pada bangunan dengan fungsi tertentu, kepentingan keempat faktor tersebut dimungkinkan untuk tidak sama proporsinya. Sebagai contoh, pada bangunan-bangunan yang membutuhkan ketenangan tinggi, demi kesehatan dan kenyamanan pengguna bangunan, seperti rumah sakit, panti perawatan dan fungsi-fungsi sejenis lainnya, maka faktor pengendalian kebisingan latar belakang menempati proporsi amat penting. Sementara untuk fungsi ruang pertemuan, keempat faktor di atas memiliki proporsi kepentingan yang sama.

Berikut ini dibahas lebih mendalam mengenai keempat faktor tersebut beserta langkah-langkah perancangan dan material akustik yang dapat dipilih untuk menuju kualitas terbaik. Langkah-langkah perancangan yang ditempuh mengacu pada perilaku perambatan gelombang bunyi di dalam ruang sebagaimana dipaparkan pada Bab IV.

5.1 Pengendalian Tingkat Kebisingan Latar Belakang Sesuai Baku

Langkah pengendalian kualitas bunyi di dalam ruang dimulai dengan mengendalikan tingkat kebisingan latar belakang sesuai baku. Adapun kebisingan latar belakang adalah kebisingan yang terpapar terus-menurus pada suatu area, tanpa adanya sumber-sumber bunyi yang muncul secara signifikan, dengan tingkat keras tidak melebihi 40 dB.

Kebisingan latar belakang harus dijaga tingkat kerasnya agar tidak menutup atau mengganggu bebunyian yang dikehendaki dalam ruangan, seperti percakapan atau musik. Kebisingan yang mengganggu ruangan dapat berasal dari:

1. luar bangunan, seperti kebisingan jalan raya atau dari area parkir milik bangunan tersebut.
2. dari ruang lain di dalam bangunan yang sama atau dari koridor di depan ruang.

Tabel 5.1 Baku kebisingan latar belakang untuk fungsi ruang yang berbeda-beda

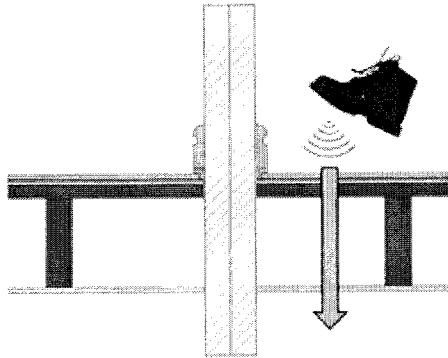
No.	Fungsi Ruang/Bangunan	Tingkat Maksimum Kebisingan Latar Belakang (dB)
1	Studio rekaman atau siaran	15-20
2	Ruang konser musik	15-25
3	Teater, ruang konferensi, ruang sidang	25-30
4	Rumah sakit, kamar hotel, perpustakaan	25-35
5	Kelas, ruang rapat, rumah tinggal	30-35
6	Rumah makan mewah, kantor	35-40
7	Kafetaria	40-45

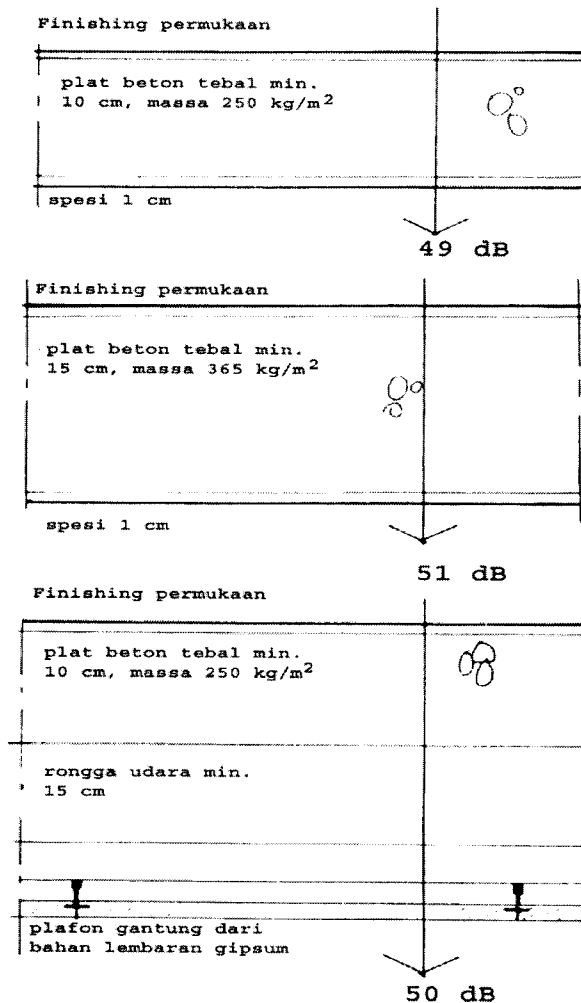
5.1.1 Lantai Ruangan

Metode peredaman kebisingan yang datang dari luar bangunan, terutama jalan raya, telah dipaparkan pada Bagian I, yang meliputi usaha-usaha untuk menghalangi perambatan gelombang bunyi melalui penempatan penghalang (*blocking*) antara sumber bunyi dan bangunan. Penghalang ini dapat berupa pagar yang ditingkatkan fungsinya menjadi *sound barrier*, *sound barrier* yang sengaja dibangun pada posisi tertentu, ataupun dinding bangunan yang menghadap kebisingan. Sementara itu untuk mengatasi kebisingan yang datang dari area parkir, rancangan dinding bangunan yang akan digunakan sangatlah penting. Elemen-elemen vertikal sebagaimana disebutkan juga telah dipaparkan secara rinci pada Bagian I.

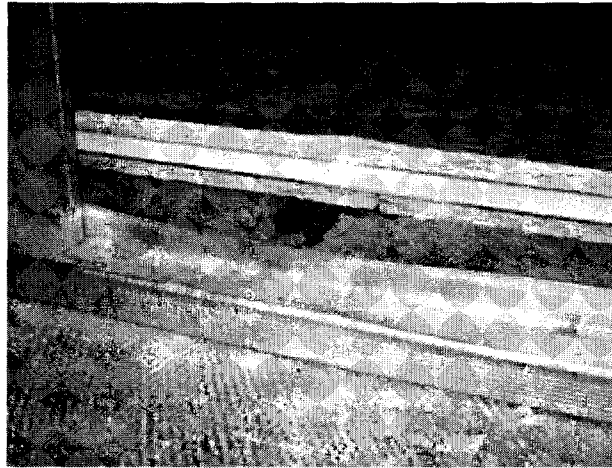
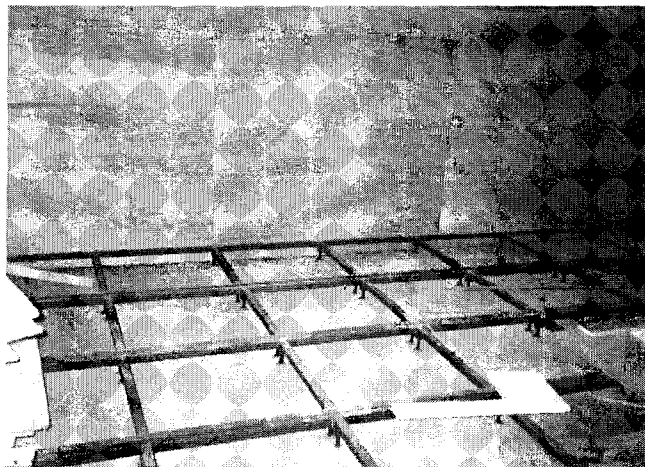
Apabila usaha ini belum juga memberikan hasil yang diharapkan, perlu kiranya diselidiki apakah diperlukan peredaman dari elemen mendatar (horizontal) bangunan. Hal ini terutama terjadi pada gangguan kebisingan yang disertai getaran hebat sehingga resonansi bunyi tidak saja terjadi pada elemen vertikal bangunan tetapi juga pada elemen horizontal, seperti lantai dan plafon/atap.

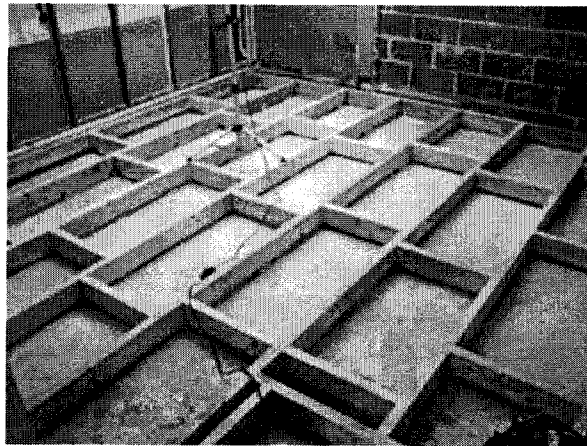
Meski lantai bukan elemen yang secara langsung menerima perambatan gelombang bunyi dari luar bangunan, namun pada bangunan berlantai banyak, lantai bangunan dapat menjadi elemen yang menerima perambatan gelombang bunyi secara langsung. Bunyi yang umumnya muncul pada elemen mendatar ini berupa *impact sound*, yaitu bunyi yang langsung terjadi di permukaan lantai. Contoh yang paling jamak dijumpai adalah langkah atau hentakan kaki (Gambar 5.2). Pada keadaan ini jika lantai tidak dirancang untuk memberikan peredaman maka sumber bunyi

yang langsung mengenai lantai akan dengan mudah dirambatkan ke ruangan di bawah lantai tersebut.

Gambar 5.2 Langkah kaki dengan sepatu beralas keras pada permukaan lantai yang keras namun ringan dan tipis, potensial menimbulkan *impact sound.*

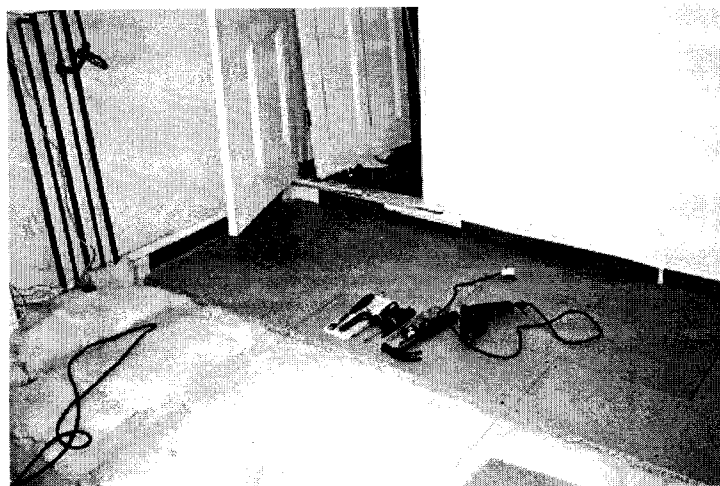
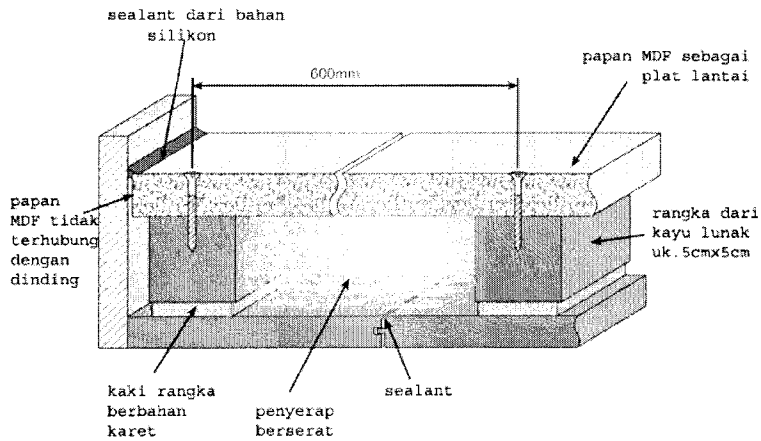
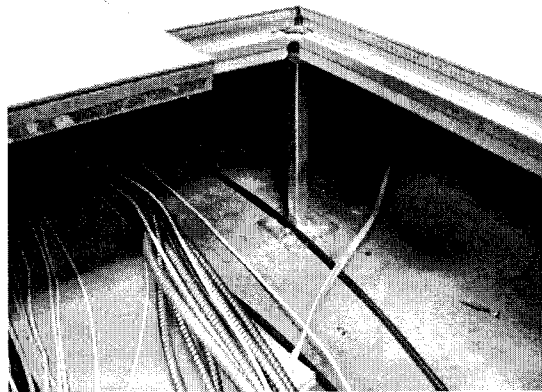
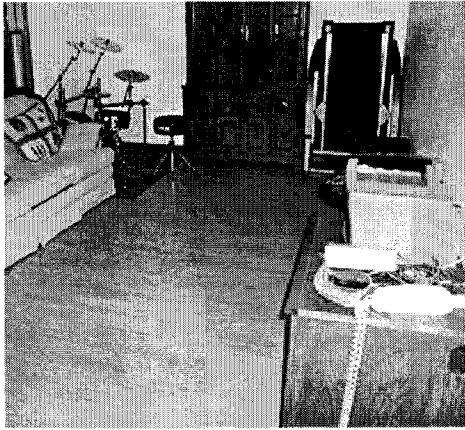
Lantai dari material ringan seperti kayu yang digunakan satu lapis dapat dipastikan mudah merambatkan bunyi langkah atau hentakan kaki. Sedangkan lantai yang terbuat dari material lebih berat dan permanen, seperti beton cor, lebih mampu menahan bunyi langkah dan hentakan kaki. Namun demikian pada keadaan di mana getaran yang muncul melebihi kekuatan hentakan kaki, redaman lantai beton satu lapis masih dapat dianggap kurang. Pada lantai yang dipergunakan untuk kegiatan dengan hentakan yang hebat, seperti sasana olah raga, atau ruang bermain alat musik pukul seperti drum, penyelesaian lantai model berlapis sangat dianjurkan. Penggunaan lantai model berlapis sebagaimana digunakan pada lantai ganda akan memberikan redaman yang lebih baik bila dibandingkan model lantai tunggal dengan ketebalan yang sama sebagaimana lantai berlapis (Gambar 5.3). Hal ini dikarenakan pada model lantai berlapis, prinsip refraksi diterapkan secara maksimal. Prinsip lantai berlapis dapat diterapkan pada keseluruhan lantai secara utuh atau hanya sebagian saja. Bila tidak semua ruang dalam suatu bangunan memiliki lantai berlapis, maka pada ruangan yang lantainya ditambah lapisan akan terasa mengalami peninggian lantai. Pada keadaan ini lantai di ruang tersebut disebut sebagai *raised floor* atau *floating floor* (Gambar 5.4 s/d 5.14) .

Gambar 5.3 Beberapa contoh penggunaan lantai ganda dan kemampuan redamnya. (Lord dan Templeton, 1996)

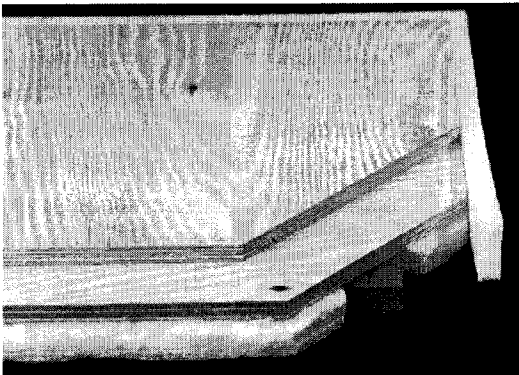
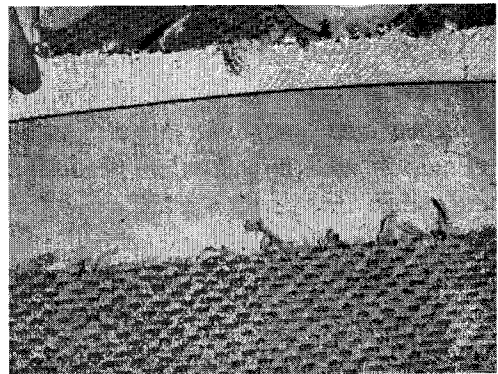
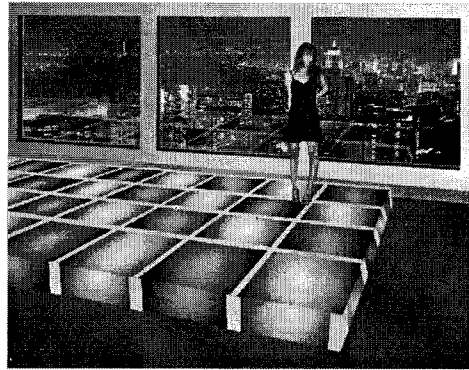
Sistem lantai berlapis secara menyeluruh pada umumnya menggunakan material yang terpasang permanen, seperti beton. Pada lantai semacam ini lapisan lantai berupa plat lantai beton, rongga udara (dapat diisi pasir atau material akustik seperti *glasswool*) dan bagian atasnya dicor plat lantai beton lagi. Pada keadaan ini kondisi plat lantai berlapis tidak akan dirasakan oleh pengguna bangunan. Hal ini berbeda dengan penggunaan lantai berlapis sebagian yang disesuaikan dengan fungsi ruangan. Di sini keberadaan lantai berlapis lebih terasa. *Raised floor* umumnya adalah lantai yang ditambahkan kemudian, setelah keseluruhan bangunan

diselesaikan. Bahkan adakalanya kebutuhan lantai berlapis ini datang ketika fungsi ruang berubah. Sebagai contoh, rumah tinggal yang kemudian berubah fungsi menjadi studio musik sederhana. Pada keadaan ini penggunaan *raised floor* menjadi lebih ideal bila dibandingkan kondisi lantai sebelumnya. *Raised floor* sendiri kemudian menjadi lapisan lantai tambahan pada ruang tersebut. Oleh karena kebutuhan akan *raised floor* lebih bersifat lokal dan seringkali datang kemudian, maka material yang digunakan untuk *raised floor* kebanyakan adalah material semipermanen dan ringan, seperti papan kayu olahan.

Gambar 5.4 Lantai yang diselesaikan sebagai *raised floor* dengan rangka besi berongga dan penutup lantai papan kayu olahan.

Gambar 5.5 Rangka lantai *raised floor* dari besi berongga yang menggunakan kaki-kaki karet.

Raised floor terdiri dari rangka untuk mendudukkan papan lantai yang akan digunakan, papan penutup dan lapisan akhir. Keberadaan rangka menjadi penting agar terbentuk rongga udara antara plat lantai permanen dengan plat lantai tambahan. Rongga udara, baik yang dibiarkan begitu saja atau yang diisi dengan bahan penyerap (seperti *glasswool*) akan menghambat perambatan gelombang bunyi dari lantai tambahan karena adanya refraksi gelombang bunyi. Penggunaan rangka yang memungkinkan terjadinya rongga akan memberikan fungsi redaman yang lebih baik bila dibandingkan dengan meletakkan pelapis lantai tambahan secara langsung di atas lantai permanen (menyatu dengan lantai).

Gambar 5.6 Rangka lantai *raised floor* dari kayu.

Gambar 5.7a Rangka lantai *raised floor* diisi dengan selimut akustik secara penuh (terlihat menggembung), memberikan redaman yang lebih maksimal.

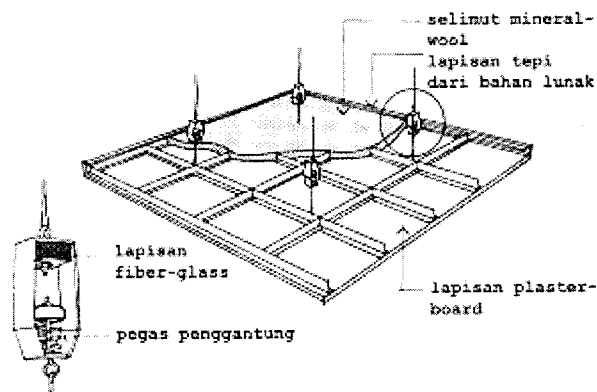
Gambar 5.7b Rangka lantai *raised floor* diisi dengan selimut ala kadarnya (terlihat longgar), kemampuan redamnya lebih rendah daripada bila diisi penuh.

Gambar 5.8 Rangka lantai yang telah diisi selimut akustik ditutup dengan papan MDF bermodul tertentu.

Gambar 5.9 Skema lantai *raised floor*

Gambar 5.10 Rangka lantai *raised floor* yang bagian bawahnya dimanfaatkan untuk kabel-kabel instalasi dan kabel peralatan yang ada di dalam ruangan.

Gambar 5.11a Penutup lantai *raised floor* dari bahan kayu parket yang secara langsung memberikan tampilan estetis.

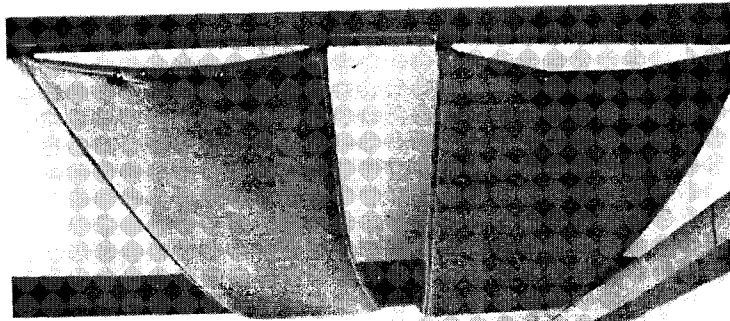
Gambar 5.11b Penutup lantai *raised floor* yang dirasa kurang estetis seperti dari material MDF perlu mendapat penyelesaian tambahan, seperti karpet. Hal ini akan sekaligus menambah kemampuan redaman lantai.

Gambar 5.12a Contoh penutup lantai dari kayu parket.

Gambar 5.12b Penutup lantai dari karpet yang sebelumnya diberi alas karton berongga motif sarang lebah.

Gambar 5.13 *Raised floor* dengan penutup dari bahan akrilik berwarna dan transparan yang sengaja diberi pencahayaan pada bagian bawah, untuk fungsi semacam panggung.

Material bangunan yang umum digunakan untuk rangka adalah kayu atau pipa logam Pada kaki masing-masing rangka juga dapat diletakkan karet sebagai penyekat, agar rangka menempel lebih baik pada permukaan lantai permanen namun tidak mudah meneruskan resonansi, juga kaki karet sebagai peredam (Gambar 5.5). Bila rongga yang terbentuk hendak diisi dengan bahan penyerap (misalnya *glasswool*), maka pengisian segera dilakukan sebelum pada bagian atas rangka diletakkan papan lantai. Papan lantai umumnya terbuat dari kayu olahan dengan modul (ukuran) tertentu sehingga dimensi rangka yang digunakan juga disesuaikan dengan modul papan penutupnya. Apabila papan yang dipasang sebagai lantai tambahan telah memenuhi kebutuhan dan dalam keadaan siap secara pabrikasi sebagai lantai (rapi dan halus, seperti papan lantai parket atau akrilik), maka lantai tambahan dapat dibiarkan sebagaimana adanya. Namun apabila papan penutup bukan merupakan papan yang siap untuk langsung digunakan sebagai lantai, maka perlu ada penyelesaian tambahan pada bagian atasnya. Pada beberapa keadaan, keberadaan pelapis tambahan memang dibutuhkan sebagai tambahan peredaman. Pelapis tambahan yang biasa digunakan adalah karpet (baik tebal atau tipis, sesuai dengan kebutuhan). Untuk memudahkan pemeliharaan, apabila rongga yang terbentuk oleh rangka juga digunakan untuk penempatan kabel-kabel (seperti yang dijumpai pada laboratorium bahasa atau laboratorium komputer (Gambar 5.10), maka pelapis tambahan juga ditempatkan dalam modul-modul yang sesuai dengan ukuran rangka dan papan lantai. Penggunaan rangka, penutup lantai dan pelapis tambahan dalam modul tertentu akan memudahkan akses dari atas guna menjangkau rongga di bawah penutup lantai.

5.1.2 Plafon Ruangan

Peredaman rambatan gelombang bunyi di dalam ruang akan lebih efektif bila plafon tidak secara langsung menempel pada struktur bangunan, atau yang disebut dengan plafon gantung. Dengan sistem plafon gantung akan tercipta rongga/jarak, yang merupakan elemen peredam, sehingga plafon tidak mudah untuk mengalami resonansi karena adanya getaran pada struktur/konstruksi. Penggunaan plafon gantung sangat bermanfaat untuk meredam getaran dan bunyi pada bangunan yang menderita kebisingan dari arah atas, seperti bangunan dekat pelabuhan udara, yang menderita kebisingan dari pesawat yang hendak mendarat atau hendak tinggal landas. Plafon gantung juga berguna untuk meredam getaran dan kebisingan pada ruangan yang menderita kebisingan akibat adanya kegiatan di lantai atasnya (pada bangunan berlantai banyak). Adapun jenis kebisingan yang terjadi pada bangunan berlantai banyak, yang dapat diteruskan ke ruangan di bawahnya, misalnya kebisingan akibat kegiatan olah raga yang disertai hentakan kaki maupun alat olah raga, seperti aerobik, basket, bulu tangkis, dll.

Pada model plafon gantung dibutuhkan penempatan rangka penggantung, biasanya dipilih dari bahan yang tipis namun kuat guna meminimalkan terjadinya resonansi, seperti kawat baja (Gambar 5.14). Selain kawat, dapat juga menggunakan batang kayu. Selanjutnya dipasang rangka plafon dengan modul sesuai modul penutup plafon. Material penutup plafon yang dapat dipilih untuk kepentingan akustik adalah yang berbahan dasar *softboard*, baik dengan permukaan cenderung rata atau berpori besar (dengan perforasi).

Gambar 5.14 Contoh penggunaan plafon gantung dengan kuncian pegas.

Gambar 5.15 Penempatan rangka plafon pada jarak hampir 1m dari plat lantai di atasnya. Meski bukan plafon gantung, keberadaan rongga udara yang sedemikian tebal mampu memberikan redaman yang baik.

Gambar 5.16 Penggunaan material lunak sebagai panel yang ditempatkan pada plafon untuk menambah kemampuan redam.

5.1.3 Dinding Ruangan

Cara penanggulangan kebisingan melalui rancangan lantai dan plafon yang telah dipaparkan sebelumnya, selain dimaksudkan untuk mencegah perambatan kebisingan yang datang dari luar ruang, juga dapat dimanfaatkan untuk mencegah rambatan kebisingan dari dalam ruang sehingga tidak merambat keluar dan mengganggu ruangan lain.

Untuk mencegah perambatan bunyi antar-ruang, elemen lain yang perlu mendapat perhatian adalah dinding pembatas yang memisahkan antar-ruang dalam bangunan. Umumnya dinding pembatas ini tidak disertai dengan jendela atau lubang ventilasi, hanya berupa dinding utuh yang terbuat dari material berat-tebal-masif sehingga lebih mudah menentukan kemampuan insulasinya. Transmisi bunyi dari suatu ruang ke ruang lain sangat tergantung oleh ada tidaknya resonansi yang dialami dinding pembatas kedua ruangan, yaitu bahwa sumber bunyi yang ada pada suatu ruang menyebabkan pembatas ruang beresonansi dan meneruskan resonansi ke ruang di sebelahnya. Bila resonansi yang menimpa pembatas dapat ditekan maka transmisi bunyi dapat diminimalkan. Pengendalian resonansi sangat bergantung pada karakteristik bidang pembatas dan penerapan prinsip refraksi. Penggunaan material pembatas yang berlapis-lapis akan memaksimalkan refraksi sehingga bidang pembatas menjadi peredam yang semakin baik. Penggunaan pembatas berlapis yang diaplikasikan pada partisi atau dinding dapat dibedakan menjadi

1. **Partisi tunggal atau berlapis tanpa rongga antara**
   Partisi atau dinding berlapis tanpa rongga udara antarlapisan memiliki karakteristik seperti halnya partisi tunggal, satu lapis (Gambar 5.18). Kemampuan redaman bidang partisi semacam ini bergantung pada frekuensi bunyi yang mengenai partisi dan massa partisi (kg/m^2). Semakin besar massa bidang partisi dan semakin tinggi frekuensi bunyi yang hendak diredam, semakin besar pula kemampuan redam dan angka redam yang dihasilkan. Secara teoretis kemampuan redaman dinding akan meningkat 6 dB ketika massanya meningkat dua kali lipat. Meski demikian, praktik penghitungan menggunakan massa sebagai acuan untuk membuat lapisan tambahan sulit diterapkan. Yang lebih praktis adalah dengan menggunakan ketebalan. Dalam hal ini ketika ketebalan partisi atau dinding meningkat sampai dua kali lipat maka kemampuan redamnya naik 5 dB (McMullan, 1992). Demikian pula penggunaan partisi atau dinding dengan ketebalan yang sama, namun frekuensi bunyi yang datang meningkat dua kali lipat, seperti dari 100 Hz menjadi 200 Hz, maka kemampuan redam material yang sama juga akan meningkat 5 dB. Pada partisi tunggal atau berlapis tanpa rongga, untuk meredam bunyi frekuensi rendah (di bawah 125 Hz), dibutuhkan partisi yang tebal dan memiliki modulus elastisitas tinggi. Hal ini terkait dengan bunyi frekuensi rendah yang selalu disertai getaran hebat, yang tidak mampu ditahan oleh partisi yang tipis. Sementara untuk meredam bunyi berfrekuensi tinggi (di atas 4000 Hz) dibutuhkan partisi yang lebih tipis dengan modulus elastisitas rendah.

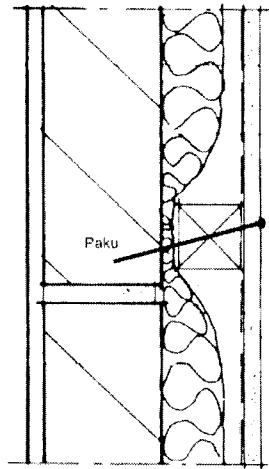
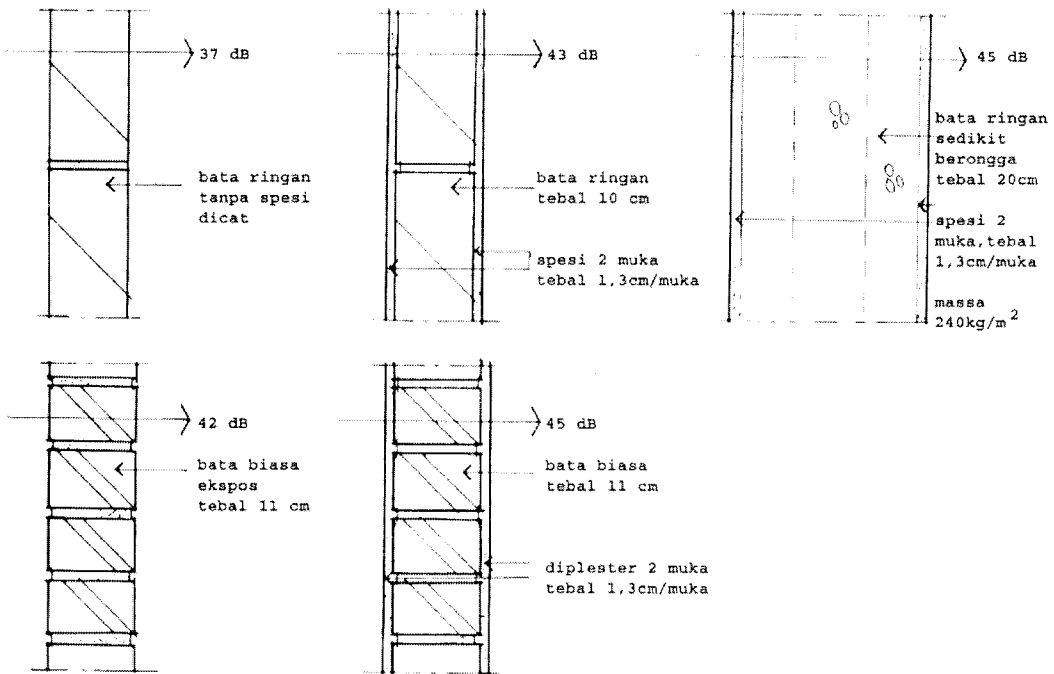
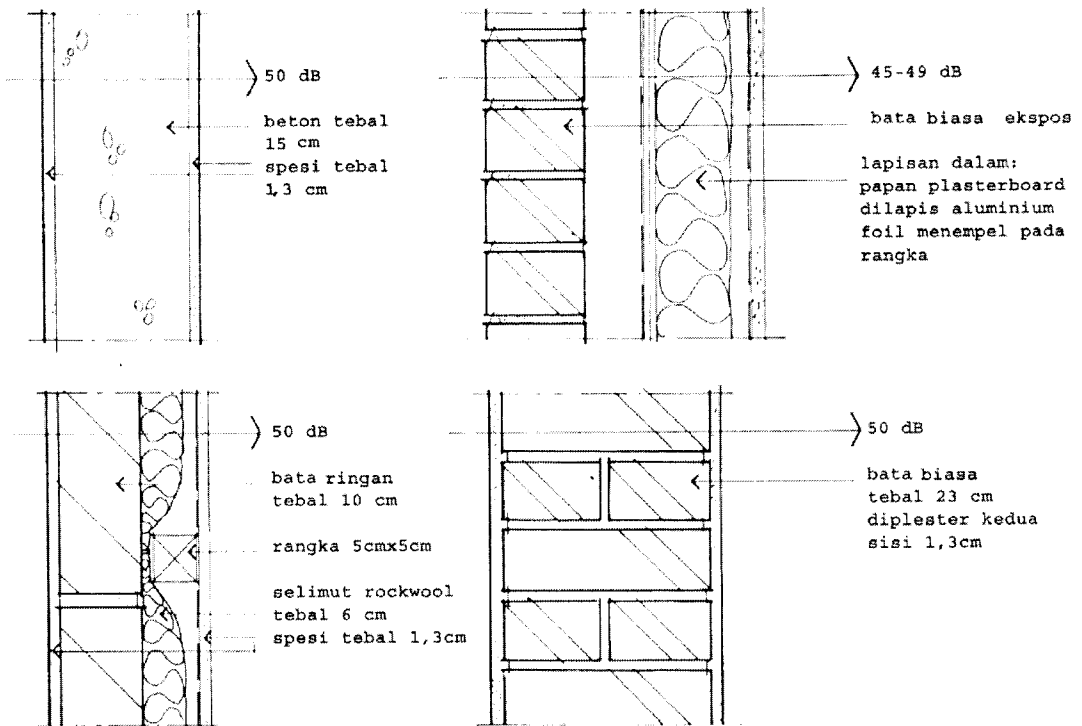
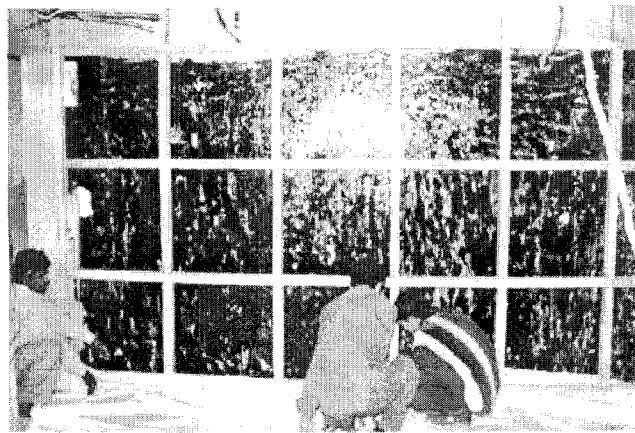
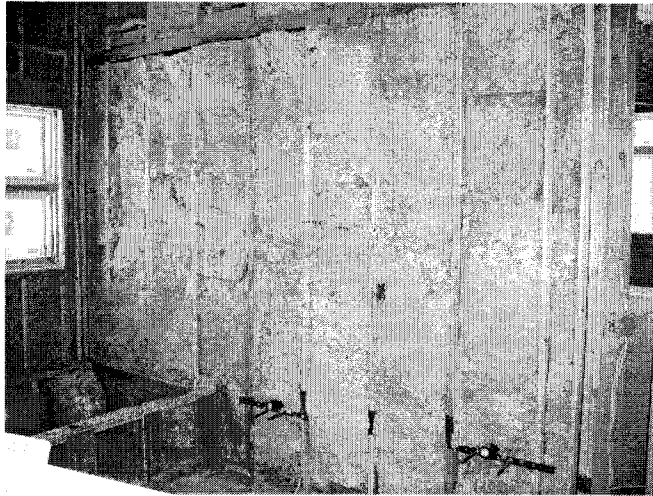
2. Partisi atau dinding ganda dengan rongga antara

Ketika dua material pembatas digunakan bersama dengan menempatkan rongga udara di antaranya maka kemampuan redam yang diperoleh secara umum lebih besar dibanding pembatas tunggal atau berlapis tanpa rongga. Semakin tebal rongga yang ada, semakin besar kemampuan redamnya. Namun demikian untuk alasan kekuatan konstruksi dan efektivitas luas ruang, tebal rongga maksimum disarankan 20 cm saja. Penempatan material penyerap di dalam rongga, misalnya *glasswool,* akan semakin meningkatkan kemampuan redamnya. Hal ini karena penempatan pembatas berlapis dengan rongga udara akan meminimalkan terjadinya resonansi. Ketika lapisan pertama tidak mampu menahan resonansi, rongga udara diharapkan mampu meredamnya, sehingga lapisan berikutnya tidak ikut beresonansi.

Redaman karena resonansi yang minimal akan kian meningkat bila masing-masing lapisan pembatas dipasang terpisah dari struktur, sementara konstruksi bangunan juga tidak terhubung satu sama lain. Pemisahan dari struktur bangunan dapat dilakukan dengan menempatkan *sealant* (karet peredam) di sekeliling bidang batas yang dilapiskan, sebelum bertemu dengan konstruksi di sekelilingnya. Penggunaan alat perekat untuk menyatukan bidang pelapis, seperti paku dan sejenisnya, dapat merusak kemampuan redam bidang partisi atau dinding, meski telah ditempatkan rongga udara di antaranya. Paku yang digunakan untuk mengaitkan keduanya dapat meneruskan resonansi dari lapisan pertama ke lapisan kedua (Gambar 5.17). Penggunaan partisi atau dinding berlapis dengan rongga antara dengan massa masing-masing lapisan yang lebih ringan akan menghasilkan kemampuan redam yang lebih baik bila dibanding partisi atau dinding tunggal dengan massa yang lebih berat (Tabel 5.2). Penggunaan partisi atau dinding berlapis dengan rongga akan meningkatkan kemampuan redamnya jika pada permukaan lapisan dinding yang menghadap ruangan ditambahkan pelapis tipis. Saat ini banyak dipasarkan material pelapis terluar yang tipis namun memiliki kemampuan redam yang baik, seperti pelapis berbahan dasar vynil dari produsen bahan akustik bermerek Acoustic First. Material ini tebalnya hanya sekitar 6 mm namun memiliki Sound Transmission Class (STC - kemampuan redam) 27.

Tabel 5.2 Kemampuan redam partisi atau dinding

No.	Konstruksi	Massa (kg/m2)	Kemampuan Redam (STC* 500 Hz dalam dB)
1	Batu bata diplester kedua sisinya (tebal konstruksi 15 cm)	300 - 400	45 -50
2	Batu kali tebal konstruksi 60 cm	1370	56
3	Gipsum board tebal 1cm	8	26
4	Gipsum board tebal 1,25 cm	10	28
5	Gipsum board tebal 1,6 cm	13	29
6	Dua lapis gipsum board tebal 1 cm direkatkan tanpa rongga udara	22	31
7	Dua lapis gipsum board tebal 1,6 cm dipisahkan rongga udara 5 cm	37	57
8	Dua lapis gipsum board tebal 1,6x2 cm dipisahkan rongga udara 5 cm	60	58
9	Dua lapis gipsum board tebal 1,6x2 cm dipisahkan rongga udara 5 cm, rongga diisi serat akustik	60	62

* STC atau *sound transmission class* adalah salah satu cara untuk menentukan kemampuan redaman suatu dinding atau partisi pada frekuensi yang telah dinormalkan. Selain STC juga dikenal cara hitung kemampuan redam yang lain.

Gambar 5.17 Paku yang disematkan untuk tujuan memperkuat konstruksi dapat meneruskan resonansi bunyi.

Gambar 5.18 Beberapa contoh penggunaan dinidng tunggal/satu lapis sebagai peredam. (Lord dan Templeton, 1996)

Gambar 5.19 Beberapa contoh penggunaan dinding tunggal/satu lapis dan dinding ganda sebagai peredam. (Lord dan Templeton, 1996)

Gambar 5.20 Proses pengerjaan dinding ganda dimulai dengan penempatan rangka di depan dinding permanen. Pada gambar di atas digunakan rangka kayu.

Gambar 5.21 Untuk menambah redaman, di antara rangka kayu dapat dipasang selimut akustik (misalnya *rockwool*) atau dapat juga langsung dipasang lapisan penutup seperti pada Gambar 5.22.

Gambar 5.22 Setelah pemasangan rangka dilanjutkan pemasangan papan pelapis dinding. Pada gambar di atas digunakan papan kayu olahan.

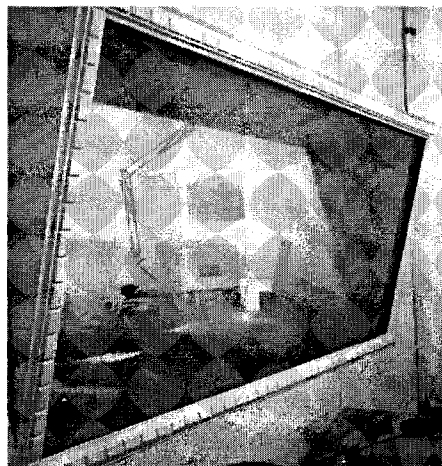
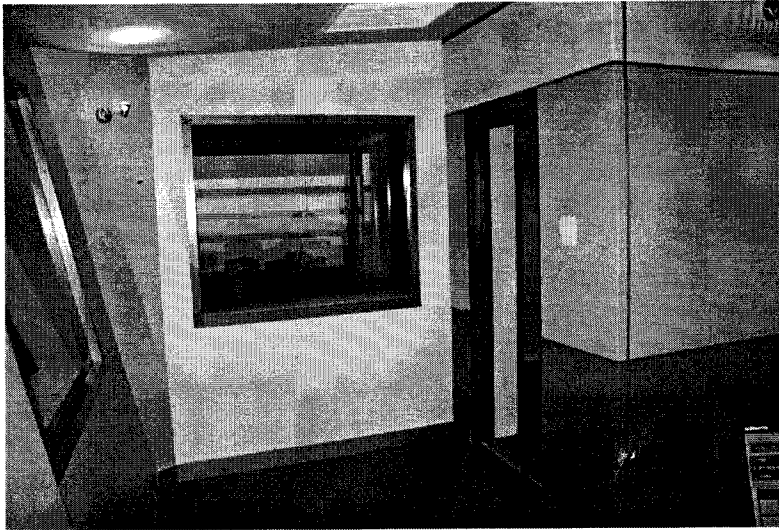
5.1.4 Pintu dan Jendela

Pintu adalah bagian dinding yang sengaja ditempatkan sebagai jalan akses masuk dan keluar pengguna ruang. Keberadaan pintu yang umumnya terbuat dari material ringan dan tipis dapat merusak kemampuan redam dinding sehingga akan meningkatkan kebisingan latar belakang di dalam ruang. Permasalahan ini dapat diatasi dengan memasang pintu dengan material dan ketebalan yang mendekati spesifikasi dinding serta penempatan *sealant* pada sambungan dan titik-titik yang memilki celah. Dengan demikian, kemampuan redam dinding tetap terjaga. Masalahnya, kemampuan redam yang baik ini hanya diperoleh ketika pintu dalam keadaan tertutup rapat. Pada saat tertentu ketenangan akan buyar ketika pintu terbuka seperti yang sering terjadi pada ruangan yang berfungsi sebagai studio rekam atau siaran. Bila demikian keadaannya, maka penggunaan pintu tebal akan terasa kurang bermanfaat.

Pada ruang yang berfungsi sebagai studio musik, studio siaran, dan yang sejenis, redaman pintu dapat diperoleh melalui pemasangan pintu ganda. Dalam hal ini dua daun pintu dipasang untuk melayani satu ruangan, yang dipasang secara berlapis dengan rongga di antaranya. Ketebalan rongga diatur agar dapat digunakan oleh manusia untuk sejenak berada di dalamnya yang memungkinkan ketika daun pintu pertama dibuka, daun pintu kedua masih tertutup. Setelah si pembuka pintu berada di dalam rongga dan menutup kembali daun pintu pertama, ia dapat membuka daun pintu kedua. Dengan sistem ini bebunyian dari ruang dalam tidak akan merambat ke luar. Begitu pula sebaliknya (Gambar 5.23a dan b).

Selain pintu, jendela yang ditempatkan pada dinding merupakan elemen yang potensial untuk menurunkan tingkat redaman dinding. Pada beberapa kondisi, hal itu dapat diperbaiki dengan menempatkan jendela ganda dengan rongga udara sebagai zat antara. Jendela kaca yang dibuat berlapis dalam posisi vertikal tidak saling sejajar dapat meningkatkan kemampuan redam. Ini sesusi dengan prinsip refraksi.

Gambar 5.23a Pintu ganda yang tidak menyisakan ruang antara yang mencukupi bagi pengguna untuk sejenak berada di dalamnya, sehingga tidak memberikan redaman saat terbuka.

Gambar 5.23b Pintu ganda dengan ruang antara yang mencukupi bagi pengguna untuk sejenak berada di dalamnya.

Gambar 5.24 Jendela kaca ganda dengan posisi kaca saling miring.

Gambar 5.25 Bukan hanya kaca jendela ganda yang dibuat miring, namun juga dinding pembatas ruangnya.

5.1.5 Penataan Letak-letak Ruang

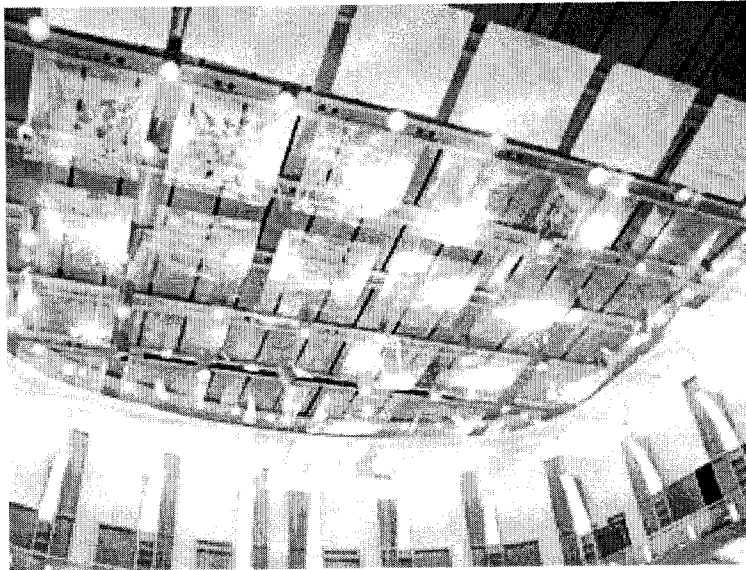
Selain mempertimbangkan elemen lantai, plafon, dan dinding pembatas ruangan, pengendalian kebisingan latar belakang suatu ruangan juga dapat dimaksimalkan dengan penataan letak ruang-ruang di dalam bangunan. Ruang-ruang di dalam suatu bangunan dapat dipilah-pilah dalam kelompok ruang yang bersifat publik dan yang lebih privat. Ruang publik dapat diletakkan lebih dekat dengan sumber kebisingan. Dalam hal kebisingan yang berasal dari jalan raya, maka perletakan ruang publik pada bagian depan bangunan, selain karena lebih mudah dijangkau pengguna bangunan, juga dapat menjadi pelindung bagi ruang-ruang privat yang letaknya lebih ke belakang. Letak ruang pada bangunan sangat menentukan kebisingan yang akan diterima secara alami oleh karena faktor jarak.

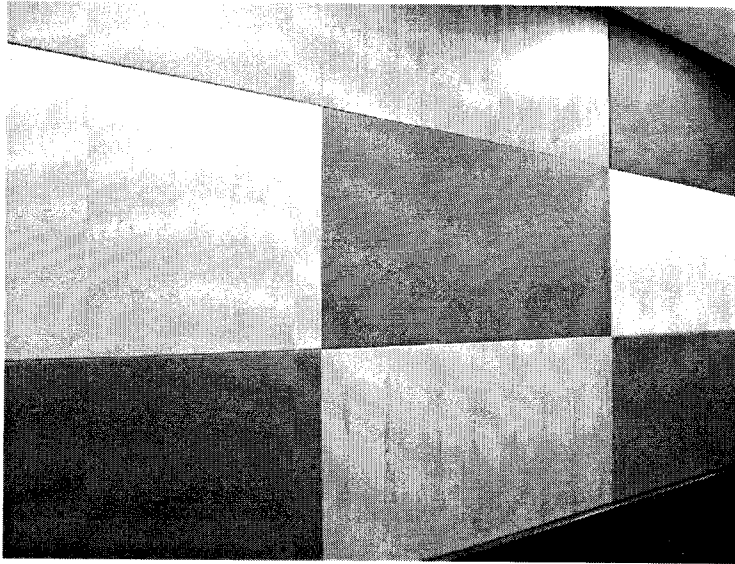
Perletakan ruang berdasarkan pendekatan sifat publik dan privat akan mengurangi kemungkinan timbulnya gangguan kebisingan yang dapat menaikkan kebisingan latar belakang, yang datang dari ruang publik ke ruang privat, sehingga rancangan dinding, lantai dan plafon ruangan dapat lebih sederhana.

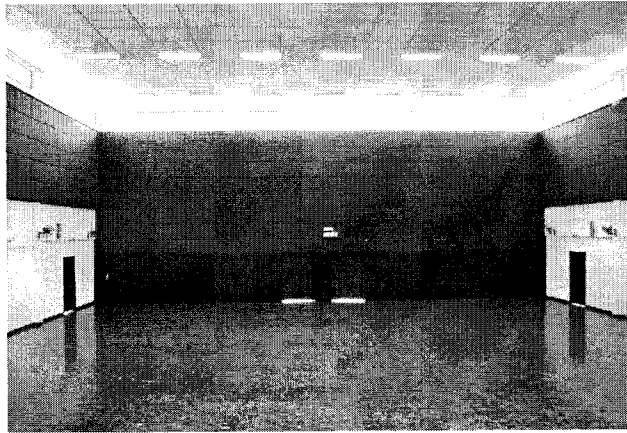
5.2 Penyebaran Bunyi Secara Merata

Apabila tingkat kebisingan telah dapat dikendalikan seperti disyaratkan maka tahap awal pengendalian kualitas bunyi di dalam ruang adalah penyebaran bebunyian yang ingin didengarkan secara merata. Bebunyian yang dimaksud dapat bermacam-macam, sesuai fungsi ruangnya. Sebagai contoh, pada ruang yang digunakan untuk kelas, bunyi yang ingin didengarkan dan harus disebarkan secara merata ke seluruh ruang adalah suara guru. Sementara pada ruang musik, bunyi yang ingin didengarkan adalah musik yang tengah diputar. Penyebaran bunyi secara merata di dalam ruang harus diikuti dengan tingkat keras dan kejelasan yang cukup.

Penyebaran bunyi dari sebuah sumber bunyi di dalam ruang ke seluruh area yang ada di dalam ruang dapat dilakukan melalui perambatan bunyi secara langsung dan melalui pemantulan. Pada perambatan secara langsung, sangat dimungkinkan terjadi perlemahan gelombang bunyi setelah menempuh jarak tertentu. Bunyi langsung dengan tingkat keras dan kejelasan yang cukup yang dapat diterima telinga manusia sangat dibatasi oleh jarak. Oleh karenanya pada jarak tertentu ketika bunyi langsung sudah melemah, perlu ada perkuatan keras bunyi yang diterima melalui peristiwa pemantulan.

Agar terjadi pantulan di dalam ruang sebagaimana dikehendaki, elemen pembatas ruang perlu dilapis dengan material-material yang mampu memantulkan. Selain faktor permukaan bidang yang mampu memantulkan, peristiwa pemantulan juga dipengaruhi oleh dimensi bidang pantul tersebut. Untuk memantulkan bunyi berfrekuensi rendah yang memiliki gelombang bunyi yang panjang diperlukan permukaan pemantul yang setidaknya memiliki dimensi (panjang dan lebarnya) sama dengan panjang gelombang bunyi yang datang. Bila dimensi penghalang jauh lebih kecil dari gelombang bunyi yang datang maka pemantulan tidak akan terjadi. Elemen pembatas ruangan yang potensial memberikan pantulan adalah plafon dan dinding. Lantai pada umumnya dianggap kurang potensial karena kegiatan manusia dilakukan di atas lantai dan perabotan pun ditempatkan di atas lantai sehingga permukaan lantai sebagian besar tertutupi. Namun demikian juga dijumpai kasus khusus, misalnya lantai cukup luas yang digunakan untuk kegiatan olah raga atau seni, dapat juga dimanfaatkan sebagai bidang pantul, karena begitu luasnya area lantai yang tidak tertutupi.

Gambar 5.26 Plafon pemantul dari bahan akrilik bergambar.

Gambar 5.27 Plafon pemantul yang dirancang bertrap untuk memberikan arah pantulan yang lebih merata.

Gambar 5.28 Dinding samping ruangan yang dirancang memantul, kombinasi material kayu dengan pelapis melamin.

Gambar 5.29 Dinding samping ruang yang diselesaikan sebagai pemantul dari material lembaran logam tipis.

Gambar 5.30 Dinding dan lantai ruangan yang dirancang memantul. Hal ini lazim dilakukan pada arena olahraga.

Elemen pelapis ruang yang akan dimanfaatkan sebagai bidang pantul perlu dilapisi material pemantul. Material pemantul adalah material dengan keadaan permukaan yang padat dan keras. Pantulan sempurna yang mengikuti sudut pantul = sudut datang akan terjadi pada permukaan padat dan keras yang halus/licin, seperti kaca, akrilik dan materil sejenis. Sementara itu permukaan padat-keras yang kasar akan menimbulkan pantulan tersebar (tidak tertuju pada satu arah pantul saja). Pantulan yang menyebar umumnya lebih disukai karena memberikan efek pantul yang dikehendaki. Meski demikian posisi perletakan bidang pantul semacam ini tetap perlu diperhatikan agar sebaran arah pantul menuju ke area yang dikehendaki. Bidang pantul menyebar disebut juga difuser atau difusor. Wujud pemukaan kasar pada difuser dapat bermacam-macam modelnya, sebagaimana disajikan pada Gambar 5.34 s/d 5.44.

Arah pantulan selain ditentukan oleh keadaan pemukaan bidang pantul juga ditentukan oleh bentuk permukaan bidang pantul. Berdasarkan bentuk permukaan bidang pantul, pantulan yang terjadi dapat berasal dari bidang datar, cekung, atau cembung.

Masing-masing bentuk bidang pantul ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Pada bidang datar, ketika seluruh permukaan bidang memberikan kekuatan pantul yang sama (kualitas bahan dan permukaan homogen), setiap sebaran gelombang bunyi asli yang mengenainya akan dipantulkan dengan mengikuti hukum sudut pantul = sudut datang. Sementara itu pemantulan yang terjadi pada permukaan cekung dapat dianggap menguntungkan untuk posisi titik tertentu (terjadi perkuatan bunyi sebagai hasil pantulan yang terpusat), namun pada posisi lain terjadi ketidakjelasan bunyi, karena sama sekali tidak menerima pantulan. Sementara itu pemantulan

oleh bidang cembung, meski terjadi secara merata, namun arahnya tidak dapat diatur sebagaimana dikehendaki, karena sangat tergantung pada busur kecembungannya.

Pada ruang-ruang yang digunakan untuk pertunjukan (dengan sejumlah penonton), seperti ruangan yang berfungsi sebagai auditorium, agar arah pantulan dapat ditentukan, sebaiknya menggunakan bidang pantul mendatar yang terpatah-patah dengan arah tertentu sesuai arah pantul yang dikehendaki (Gambar 5.27).

Dalam kehidupan sehari-hari kita dapat menjumpai ruangan dengan bentuk memanjang, seperti lorong atau koridor. Bila permukaan dinding yang membentuk lorong tersebut dilapis dengan material pemantul, bunyi yang muncul dalam lorong akan dipantulkan bolak-balik. Pantulan semacam ini disebut *flutter echoes*. Keadaan ini menyebabkan ketidak-jelasan bunyi. Kualitas bunyi amat rendah karena pemantulan berulang ini dapat dianggap sebagai nois dan dapat menyusup ke area atau ruang di balik bidang pembatas. Munculnya *flutter echoes* dapat diatasi dengan:

1. melapisi dinding atau partisi yang membentuk lorong dengan material yang memiliki kemampuan serap tinggi (rincian mengenai material semacam ini akan dibahas lebih lanjut).
2. menyelesaikan bagian terluar dinding atau partisi agar berada pada posisi yang tidak benar-benar paralel.
3. melapisi dinding atau partisi dengan material yang memiliki kemampuan pantul menyebar atau bersifat difus.

Pemantulan yang dibutuhkan untuk memperkuat bunyi dalam tingkat kejelasan yang cukup adalah pemantulan yang terjadi seketika atau diberikan oleh bidang-bidang pantul yang jaraknya berdekatan dengan sumber bunyi. Disebut seketika karena pantulan diterima pendengar dalam waktu kurang dari 1/20 detik. Pantulan yang terjadi sangat cepat ini akan diterima hampir bersamaan dengan bunyi asli sehingga menumpuki atau menguatkan. Namun demikian pemantulan yang terjadi di dalam ruang tidak selalu berupa pantulan seketika, namun dapat juga berupa pantulan tunda yang bila dihitung dengan satuan waktu adalah pantulan yang diterima pendengar setelah 1/20 detik. Pantulan seketika disebut dengung atau *reverberation*, sementara pantulan tunda disebut gaung atau gema atau *echo*. Tentang *reverberation* akan dipaparkan terinci pada bagian selanjutnya sementara tentang gema tidak akan dibahas lebih lanjut karena bukan jenis pantulan yang dikehendaki.

5.3 Menentukan Kualitas Pemantulan dengan Waktu Dengung

Kualitas pemantulan dengung (*reverberation*) ditentukan oleh *reverberation time* atau waktu dengung (diukur dalam satuan detik). *Reverberation time* atau dinotasikan RT atau t saja, adalah waktu yang dibutuhkan bunyi yang merambat di dalam ruangan untuk melemah tingkat kerasnya sebesar 60 dB, ketika sumber bunyi tersebut dihentikan. Sebagai contoh, seseorang di dalam suatu ruangan menepukkan tangannya satu kali. Bila tingkat keras tepukan tangan itu mencapai 65 dB (tingkat keras bunyi diukur dengan alat yang bernama *sound level meter*), ketika tepukan tangan dihentikan, bunyi tepukan itu akan terus melemah sampai hilang. Perlemahan ini sangat bergantung pada kemampuan pantul bidang-bidang yang membatasi ruangan tersebut (lantai, dinding, dan plafon). Semakin keras dan licin permukaan pembatas (artinya semakin kuat pantulan yang terjadi), maka perlemahan bunyi semakin lambat. Demikian sebaliknya. Pada contoh yang telah disebutkan, dibutuhkan waktu *t* detik untuk bunyi dari tingkat keras 65 dB menjadi 5 dB saja. Oleh karena nilai 60 dB dijadikan acuan, maka RT atau t seringkali juga ditulis sebagai RT_{60} atau t_{60}.

$$RT_{60} = \frac{0,16V}{A} \quad \text{.......................................(2)}$$

Dengan

RT_{60} = waktu dengung ruang dalam detik

V = volume ruang

A = total penyerapan dalam ruang yang diperoleh dari koefisien serap masing-masing material pelapis ruang dikalikan luasnya.

Kini penghitungan RT suatu ruang dan analisis beberapa parameter kualitas akustik dapat dilakukan dengan mudah menggunakan *software* yang sengaja diciptakan untuk kebutuhan itu. Beberapa *software* yang disebutkan berikut ini mendasarkan hitungan RT pada persamaan (2) yang juga dikenal dengan rumus Sabine (sesuai nama penciptanya). Adapun *software* yang dapat dipilih di antaranya adalah CATT-Acoustic dan Acousalle. Kedua *software* ini khusus untuk melakukan analisis kualitas akustik, sementara ada pula *software* yang lebih umum seperti ECOTECT.

Acousalle mulai digunakan tahun 1994, sementara CATT justru lebih dulu. CATT kependekan dari *Computer Aided Theater Technique*, pertama kali diciptakan tahun 1986 oleh Bengt-Inge Dalenbäck, Ph.D. Software ini kemudian disempurnakan menjadi CATT-Acoustic pada 1988.

Baru-baru ini perusahaan pengelola CATT yang berpusat di Swedia juga memasarkan software yang secara khusus digunakan untuk menghitung *reverberation*, yaitu The FIReverb Suite.

ECOTECT adalah *software* dari Autodesk yang dirancang oleh DR. Andrew J Marsh, seorang arsitek, untuk melakukan analisis terhadap aspek-aspek kenyamanan bangunan. Tidak saja khusus untuk analisis aspek akustik, tetapi juga aspek lain seperti pencahayaan, pengudaraan, dll.

Nilai ideal RT suatu ruang sangat bergantung pada fungsi ruang dan volume ruang secara utuh, sebagaimana dicontohkan Tabel 5.3. Namun demikian ada pedoman umum yang dapat dijadikan acuan, yaitu:

1. RT ideal bagi ruang yang dipergunakan untuk kegiatan bercakap-cakap atau berbicara berada pada 0,5 – 1 detik. Sebagai contoh adalah ruang seminar, ruang pertemuan, kelas, dan sejenisnya.
2. RT ideal bagi ruang yang dipergunakan untuk kegiatan musik berada pada 1,5 – 2 detik. Sebagai contoh adalah ruang konser, gereja, dll.

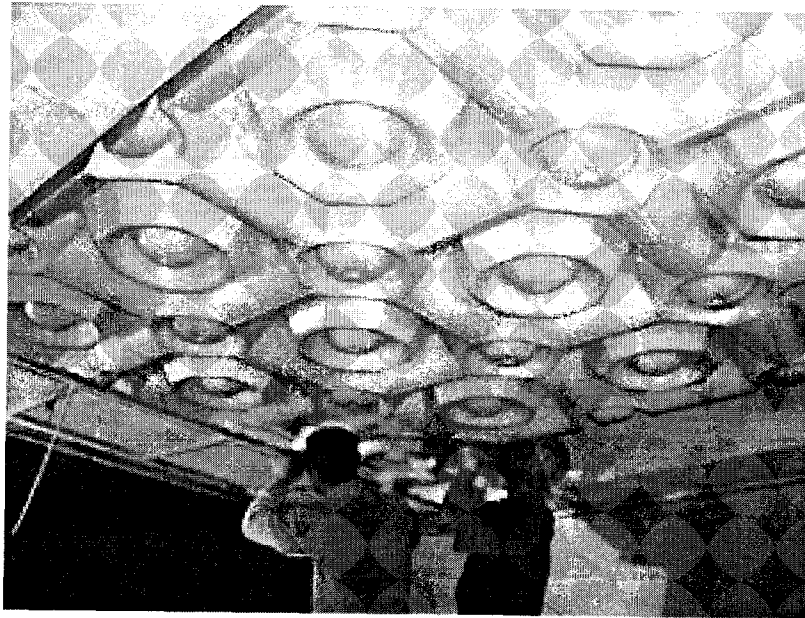
Mengacu pada persamaan (2), RT suatu ruang sangat bergantung pada dimensi ruang dan koefisien serap material pelapis ruangnya. Semakin besar volume ruang, umumnya memiliki waktu dengung ideal yang semakin panjang. Apabila pada suatu keadaan dijumpai waktu dengung yang belum ideal, sementara dimensi ruang tidak berubah, maka waktu dengung hanya dapat dikoreksi melalui perubahan koefisien serap, yang berarti mengubah material pelapis yang sebelumnya digunakan. Dengung ideal yang terjadi dalam ruangan selain ditentukan oleh waktu dengung, seyogyanya juga diperoleh dari hasil pantulan bidang-bidang yang posisinya dekat dengan sumber bunyi oleh bidang pantul bersifat difus.

Tabel 5.3 Kesesuaian waktu dengung menurut fungsi ruangan (McMullan, 1991)

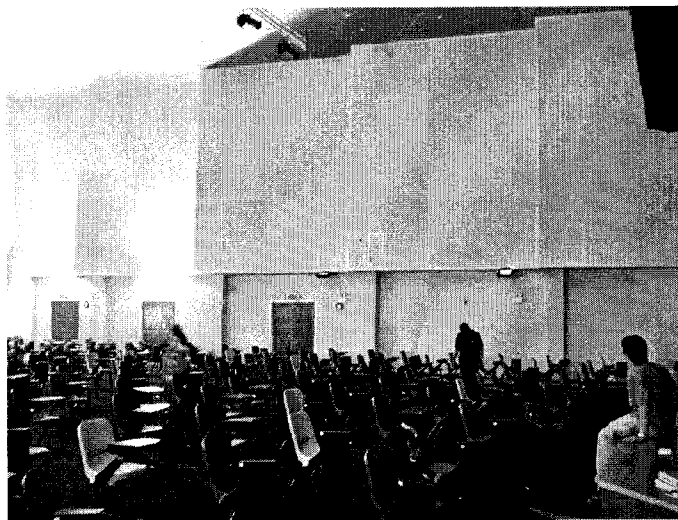
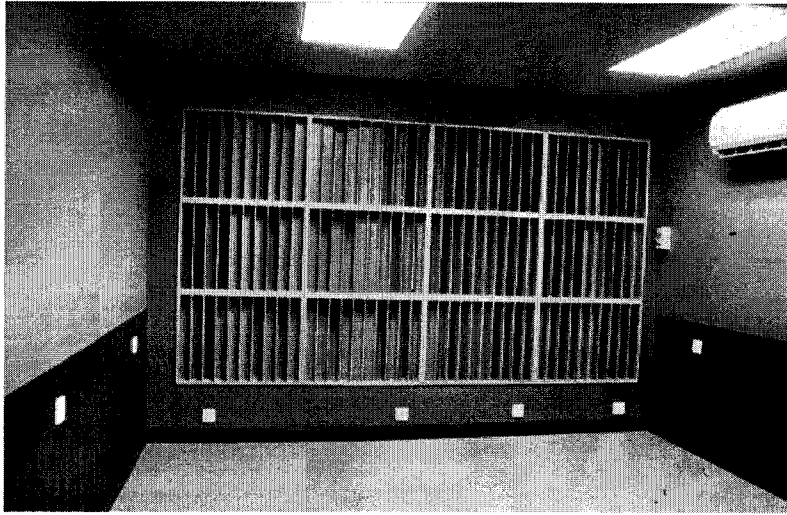
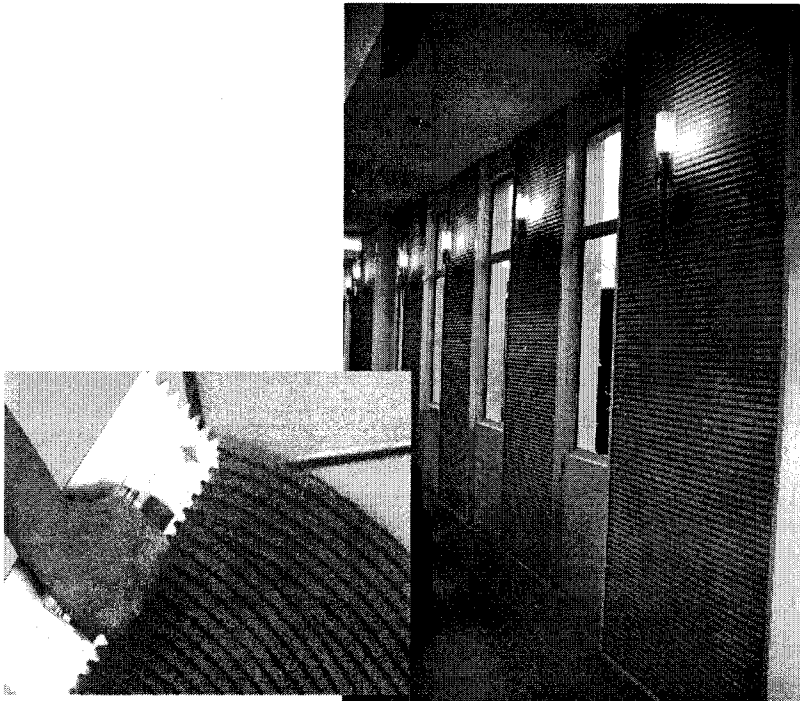
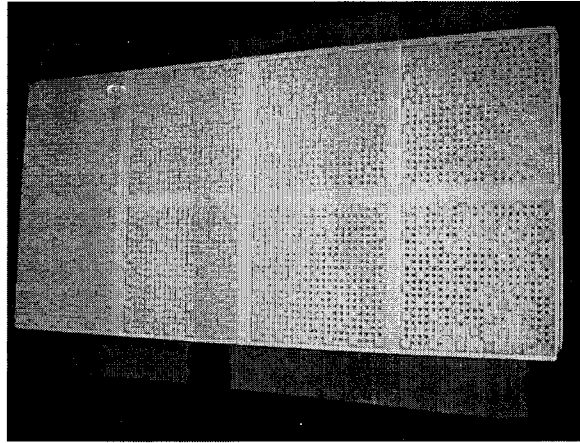
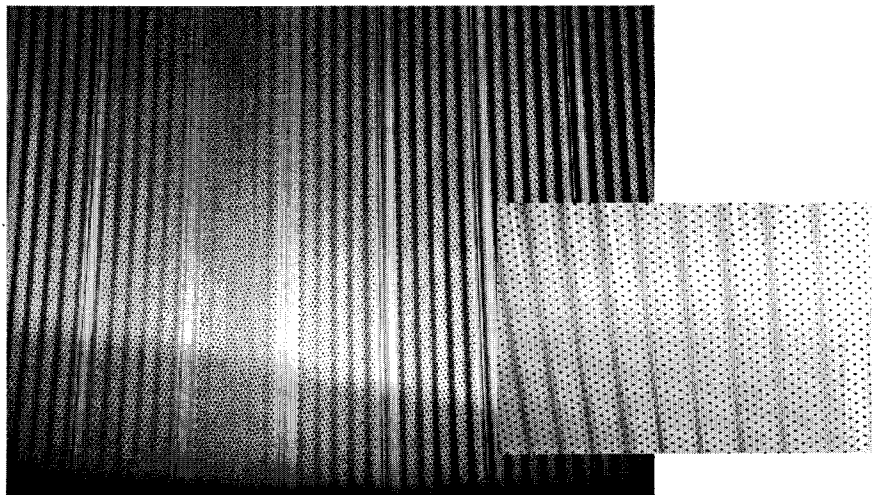
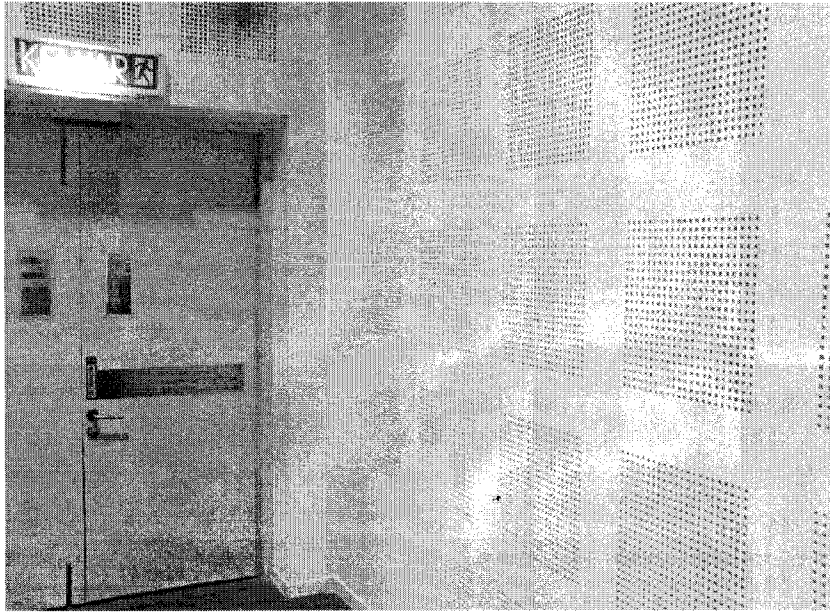
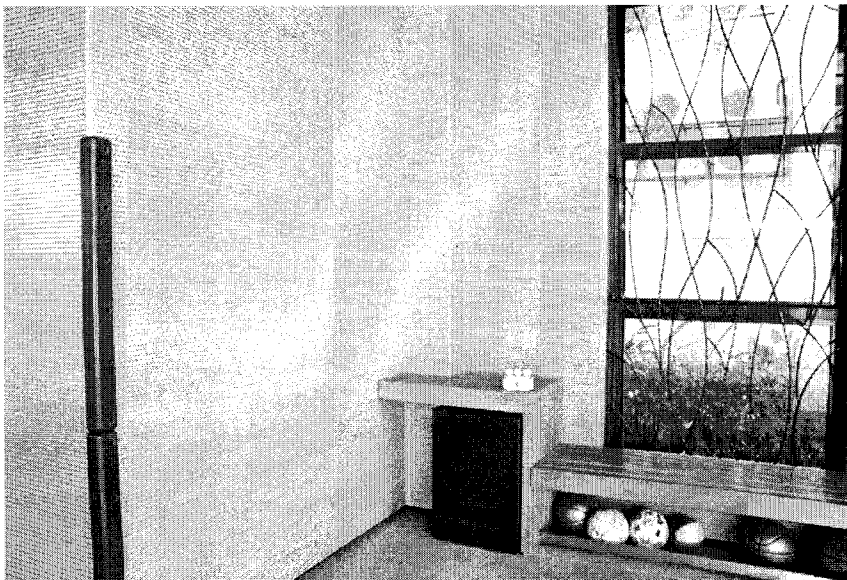
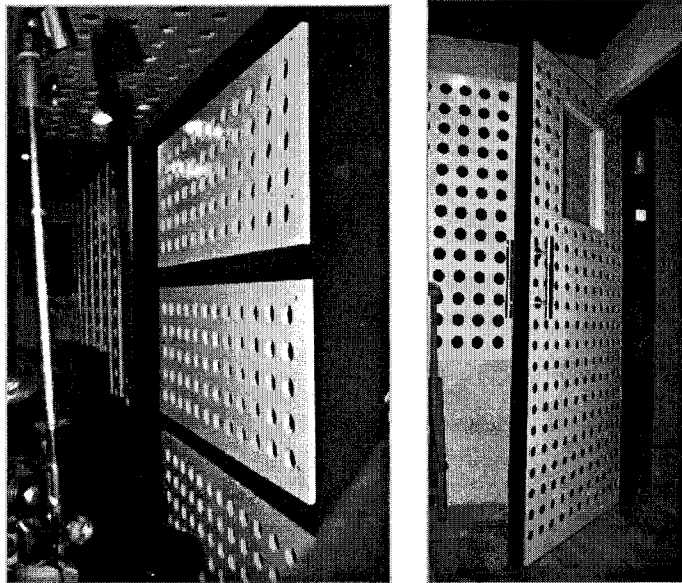
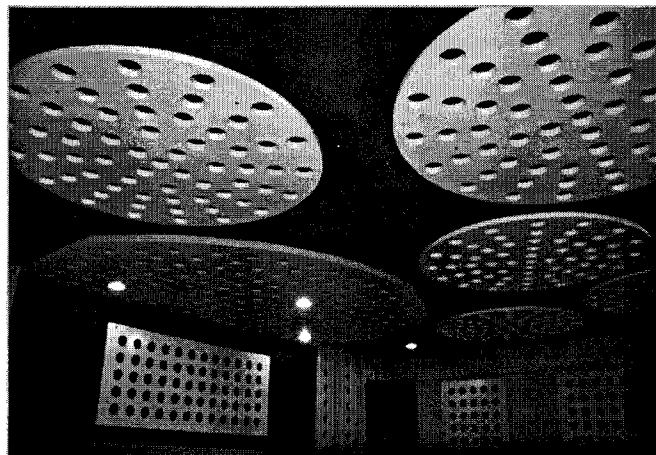
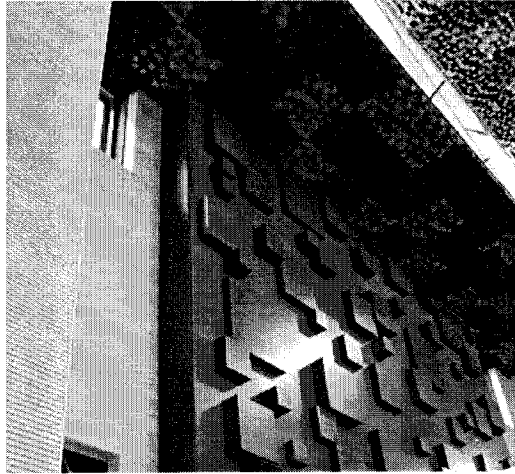
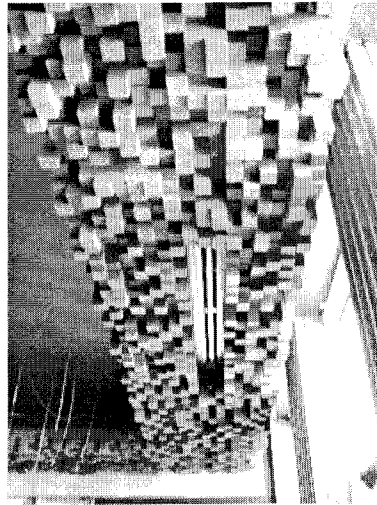
Fungsi Ruangan	Volume Ruang (m^3)	Waktu Dengung (detik)
Kantor	30	0,5
	100	0,75
Ruang konferensi	100	0,5
	1000	0,8
Studio musik	500	0,9

Fungsi Ruangan	Volume Ruang (m^3)	Waktu Dengung (detik)
	5000	1,5
Gereja	500	1,5
	5000	1,8

5.4 Perbaikan *Reverberation Time* dengan Pemantulan Tersebar atau Difusi

Pemantulan kuat yang menganut hukum sudut pantul = sudut datang sebagaimana yang diberikan oleh permukaan datar-keras-licin dapat menimbulkan pantulan berlebihan yang merusak RT ideal pada suatu ruangan. Keadaan ini dapat diperbaiki dengan mengganti permukaan datar-keras-licin dengan permukaan datar-keras-kasar (Gambar 5.40) atau permukaan heterogen pantul-serap (Gambar 5.36 s/d 5.39). Permukaan tidak rata yang bersifat difus ini akan menyebarkan gelombang bunyi merata 180° sehingga tidak lagi mengikuti hukum sudut pantul = sudut datang. Meski seolah sama dengan pemantulan yang terjadi saat gelombang bunyi mengenai permukaan cembung, namun sesungguhnya terdapat perbedaan. Pada pemantulan bidang cembung, satu gelombang bunyi menghasilkan satu gelombang pantul. Sementara pada pemantulan difus, satu gelombang bunyi akan dipantulkan menjadi beberapa gelombang bunyi dalam kekuatan pantul yang lebih kecil secara merata. Pemantulan jenis difus yang terjadi pada ruang dengan volume yang tidak terlalu besar (cukup untuk menampung 150 orang), umumnya menghasilkan dengung yang tersebar dengan baik. Sedangkan pada ruang yang besar, pantulan yang berupa gema, tidak akan diterima terlalu kuat, karena kekuatan gelombang pantul tidak sekuat gelombang datang, sebab telah disebarkan merata ke segala arah. Ruangan yang cenderung memiliki sifat pemantulan difus disebut "ruangan basah" sebagai kebalikan dari ruangan yang bersifat amat menyerap disebut "ruangan kering".

Gambar 5.31 Plafon dengan permukaan difus dari bahan fiberglas.

Gambar 5.32 Plafon dengan permukaan difus dari bahan *stirofoam*.

Gambar 5.33 Plafon sebuah aula dengan pelapis multipleks dan penyelesaian bentuk permukaan khusus agar memiliki sifat difus.

Gambar 5.34 Dinding suatu aula dari lembaran logam tipis dengan permukaan difus berbentuk lipatan halus.

Gambar 5.35 Dinding difus dari material kayu dalam model papan tipis berjajar sebagaimana rak buku.

Gambar 5.36 Dinding bata plester yang sekaligus diselesaikan permukaannya sebagai difuser, penyelesaian menggunakan *trowel*.

Gambar 5.37 Panel dinding dari lembaran logam dengan lubang-lubang pada sebagian permukaannya sehingga berfungsi sebagai difuser.

Gambar 5.38 Pelapis dinding dari logam tipis bergelombang dengan pori-pori (perforasi) pada seluruh permukaannya, akan membuatnya bekerja sebagai difuser.

Gambar 5.39 Dinding difuser dengan model berpori besar (perforasi) dari produsen material akustik merk Armstrong.

Gambar 5.40 Dinding difuser dari material kayu.

Gambar 5.41 Panel dari kayu yang dilubang-lubangi sedemikian rupa untuk menjadi difuser pada dinding dan pintu.

Gambar 5.42 Panel berlubang untuk menjadi difuser pada plafon.

Gambar 5.43 Panel dari kayu dengan tempelan ornamen acak untuk menjadi difuser.

Gambar 5.44 Susunan balok-balok memanjang menghasilkan permukaan difus yang dipasang pada plafon.

5.5 Perbaikan *Reverberation Time* dengan Penyerapan

Bergantung karakteristik permukaan bidang dan beberapa faktor lain, gelombang bunyi yang mengenai bidang batas akan mengalami pemantulan, penyerapan dan transmisi. Itu berarti sebagian energi bunyi ada yang dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian diteruskan ke balik bidang batas. Proporsi energi bunyi yang dipantulkan, diserap, atau diteruskan ditentukan oleh

koefisien serap (α). Koefisien serap (absorpsi) adalah angka tanpa satuan yang menunjukkan perbandingan antara energi bunyi yang tidak dipantulkan (diserap) oleh material pembatas berbanding keseluruhan energi bunyi yang mengenai material pembatas. Bidang pembatas yang merupakan penyerap sempurna memiliki nilai koefisien serap 1, sementara yang memantulkan sempurna nilainya mendekati 0. Besar-kecilnya nilai koefisien serap selain bergantung frekuensi bunyi dan karakteristik material pembatas juga bergantung pada besarnya sudut jatuh gelombang bunyi. Meski demikian pada praktiknya faktor sudut tidak memberikan pengaruh yang penting karena saat gelombang bunyi merambat ke segala arah, sudut datang yang mengenai permukaan bidang batas dapat berbeda-beda besarnya. Oleh karena sudut datangnya banyak dan bervariasi maka koefisien serapnya ditulis sebagai $\bar{\alpha}$.

Terkait dengan kemampuan serap material, ada 3 faktor yang perlu diperhatikan, yaitu ketebalan, rongga udara dan kerapatan. Seringkali muncul pendapat bahwa material yang lebih tebal akan memberikan kemampuan serap yang lebih baik. Hal ini benar hanya untuk bunyi berfrekuensi rendah namun tidak selalu untuk frekuensi tinggi. Kemampuan serap terhadap bunyi frekuensi rendah juga dapat ditingkatkan dengan menempatkan penyerap pada jarak tertentu dari konstruksi ruang sehingga tercipta rongga udara. Sementara itu dari aspek kerapatan material, untuk menjadi penyerap yang baik, material dituntut untuk memiliki kerapatan sedang. Pada tingkat kerapatan rendah atau terlalu renggang, penyerapan tidak dapat terjadi. Demikian pula pada kerapatan yang tinggi, permukaan material penyerap cenderung berubah jadi memantulkan.

Perilaku bidang yang memiliki kemampuan serap juga bergantung pada frekuensi bunyi yang datang. Nilai $\bar{\alpha}$ yang disebutkan umumnya merupakan nilai bagi frekuensi 100-4000 Hz. Penggunaan material yang cenderung memiliki daya serap tinggi akan memperbaiki atau mengoreksi RT yang belum sesuai dengan persyaratan untuk suatu ruangan, terutama angka RT yang terlampau tinggi. Proses perbaikannya meliputi penggantian pelapis ruangan dari material yang semula bersifat memantul dengan material yang lebih bersifat menyerap. Namun demikian tidak selamanya perbaikan RT dengan mengganti pelapis ruang menggunakan material penyerap menghasilkan kualitas bunyi yang sesuai. Bila seluruh permukaan ruang dilapis dengan material berkemampuan serap tinggi maka akan dihasilkan ruang dengan RT mendekati 0. Ruangan semacam ini disebut "ruangan kering". Beberapa pengguna ruang dapat merasakan ketidaknyamanan bunyi dalam ruangan kering, karena bunyi yang dihasilkan menjadi kurang mantap, kurang penuh atau kurang dinamis. Namun demikian ruang semacam ini juga dibutuhkan untuk kegiatan tertentu, seperti ruang studio yang sedang digunakan untuk menyeleksi calon penyanyi baru. Pencari bakat perlu mendengarkan suara asli penyanyi tanpa terbaur oleh bunyi pantulan sedikitpun. Sebagai contoh lain, penelitian oleh perusahaan

penyedia produk-produk akustik menyebutkan bahwa studio musik untuk aktivitas bermusik rock harus diselesaikan dengan pelapis ruangan yang bersifat lebih menyerap dibandingkan studio musik untuk kegiatan bermusik klasik atau jazz. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan akan tingkat pantulan dan penyerapan suatu ruang sangat berbeda-beda. Adapun teknik pemasangan material penyerap agar tidak menghasilkan ruang yang terlalu kering adalah dengan meletakkan potongan-potongan material penyerap secara tersebar ke seluruh permukaan ruangan sehingga memberikan hasil penyerapan yang lebih merata namun tidak kering bila dibandingkan dengan meletakkan penyerap secara menyeluruh di salah satu sisi ruangan saja. Teknik ini dikemukakan oleh BBC London dari hasil penelitian yang dilakukannya.

Bagi orang yang terlalu dekat dengan sumber bunyi pengganggu yang ada di dalam ruang, aplikasi material pelapis ruang yang menyerap kurang memberikan manfaat bagi penurunan tingkat kebisingan yang dideritanya. Penyerapan gelombang bunyi oleh material pelapis baru terasa ketika seseorang berada pada jarak tertentu dari sumber bising tersebut. Sebagai contoh, ketika dua orang berada pada posisi sangat dekat di dalam ruang yang tenang, maka penyelesaian akustik ruangan tidak akan memberikan pengaruh berarti terhadap kualitas percakapan yang mereka lakukan. Ketika jumlah orang di dalam ruang itu bertambah, maka tingkat gangguan kebisingan akan bertambah sesuai persamaan:

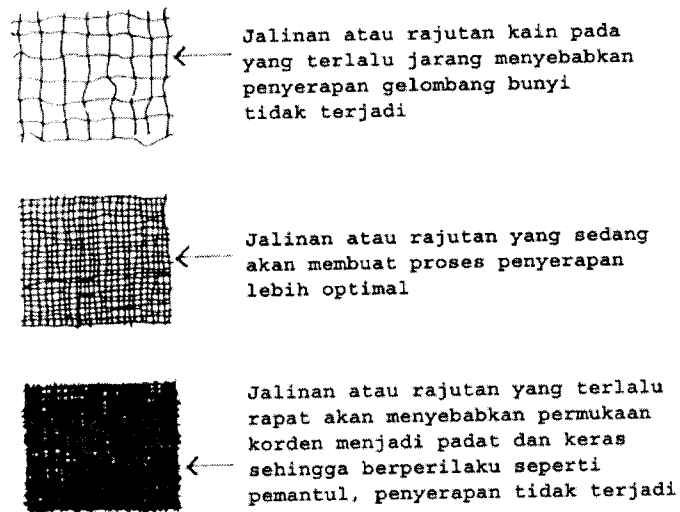
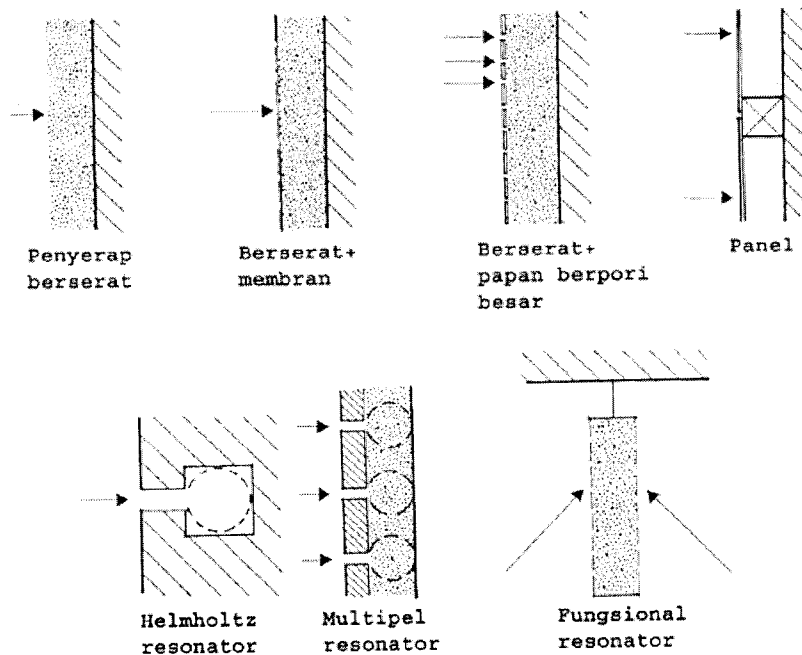
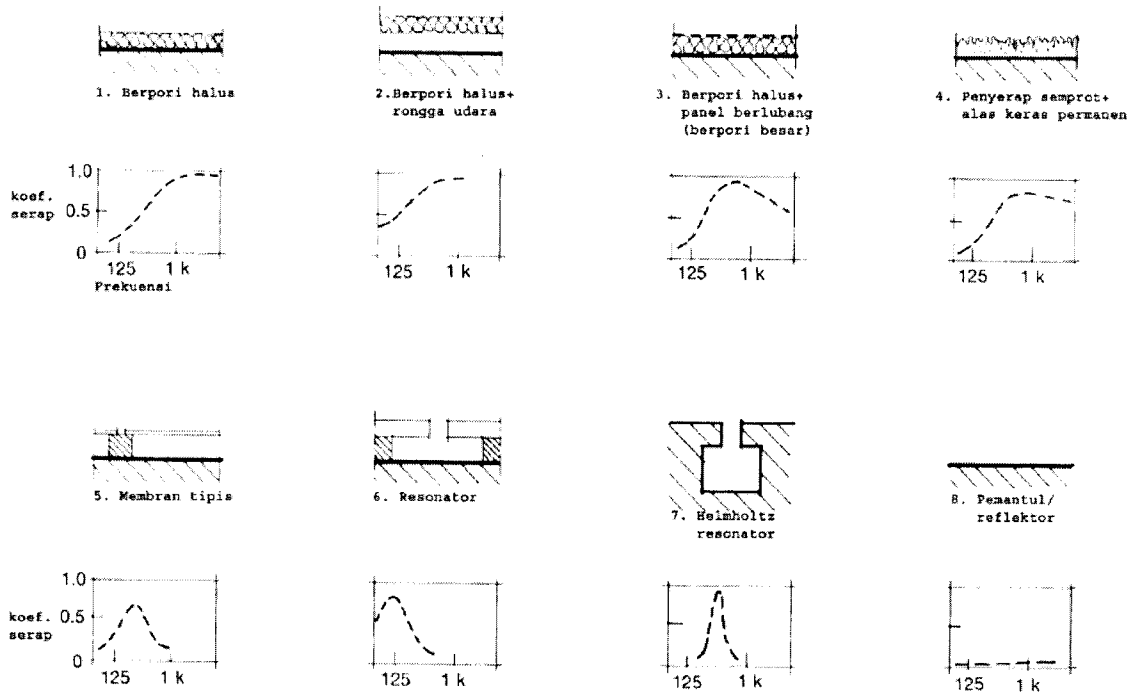
$$TG = 10 \log N \qquad (3)$$

Dengan

TG adalah tingkat gangguan

N adalah jumlah orang yang berbicara dalam ruangan

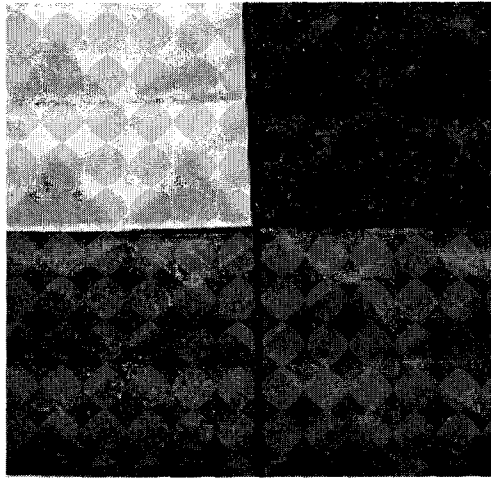
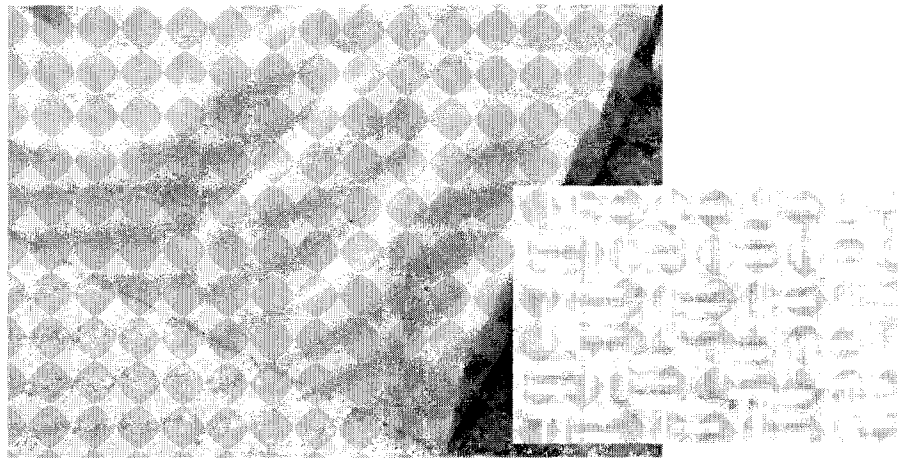
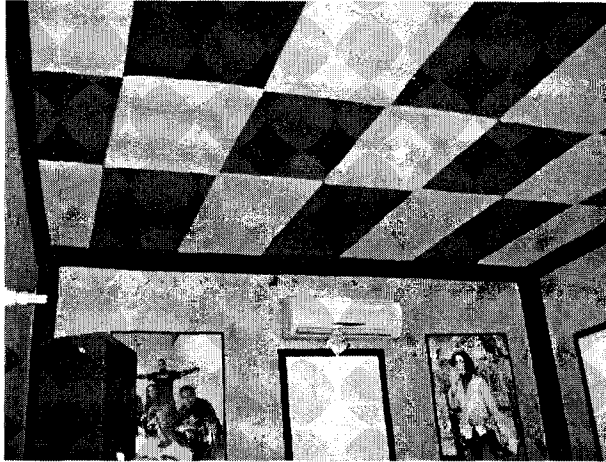
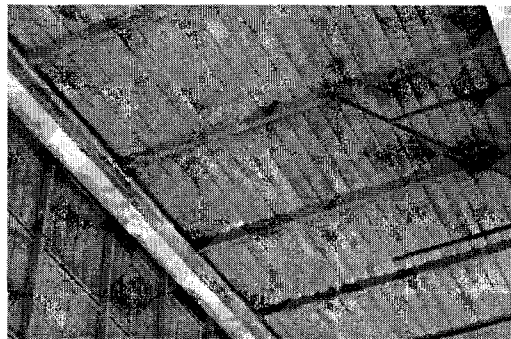
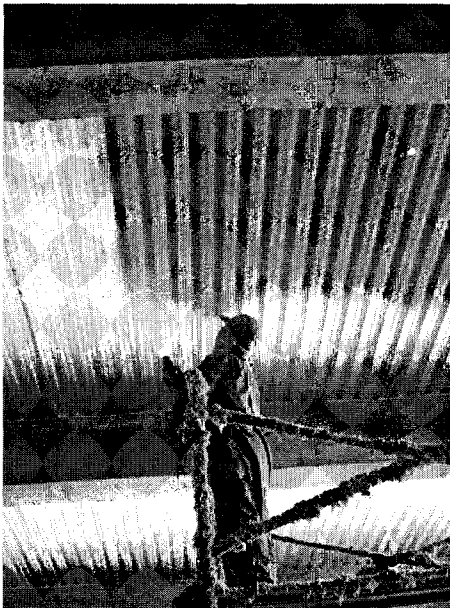
Persamaan (3) menunjukkan bahwa semakin banyak orang yang berbicara maka tingkat gangguan menjadi semakin tinggi. Pada keadaan semacam ini pelapisan bahan menyerap pada ruangan akan memperbaiki kualitas suara percakapan.

Untuk mendapatkan daya serap yang sesuai dengan frekuensi bunyi yang terjadi, perlu dipilih material penyerap yang juga sesuai. Material bangunan yang memiliki sifat menyerap sangat beragam jenisnya. Beberapa jenis penyerap yang paling banyak digunakan akan dibahas berikut ini.

Gambar 5.45 Kerapatan jalinan serat korden dan material bersifat kain lainnya dengan kemampuan serapnya.

Gambar 5.46 Skema model penyerapan oleh material yang berbeda-beda.

Gambar 5.47 Koefisien serap dari model penyerapan oleh material yang berbeda-beda. (Lord dan Templeton, 1996)

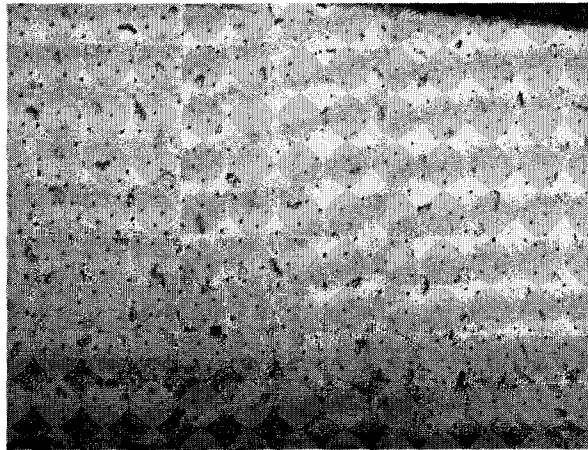
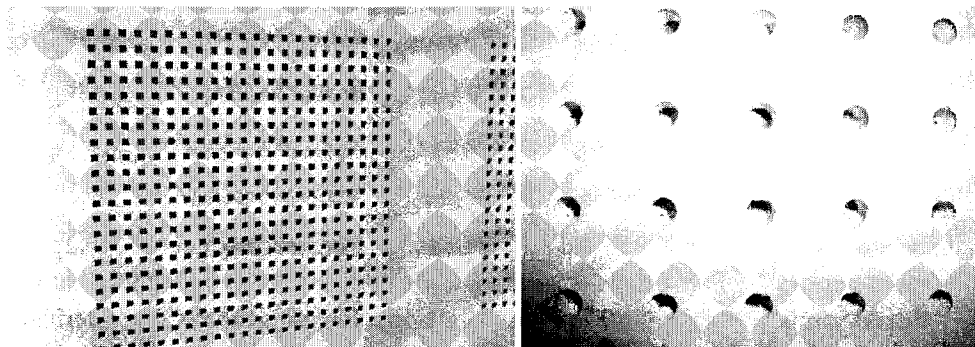
5.5.1 Material bersifat porus

Kita sering beranggapan bahwa material lunak (porus) dengan pori-pori amat kecil adalah material yang baik sebagai penyerap segala bunyi. Faktanya tidak selalu demikian. Kemampuan serap material lunak sangat bergantung pada frekuensi bunyi yang mengenainya. Secara umum, material lunak akan menyerap dengan baik bunyi-bunyi berfrekuensi tinggi (yang panjang gelombangnya kecil/pendek). Dapat kita asumsikan bahwa lubang-lubang kecil yang disebut pori tersebut menjadi mulut yang memakan gelombang bunyi kecil-kecil/pendek-pendek yang datang padanya. Sebaliknya, pori yang kecil ini tidak mampu menangkap gelombang bunyi yang besar-besar/panjang-panjang sehingga tidak sesuai untuk menyerap bunyi berfrekuensi rendah.

Korden atau tirai yang banyak digunakan sebagai kelengkapan ruangan dapat berlaku seperti halnya material lunak. Penempatan korden yang juga menyisakan rongga udara antara dengan dinding di belakangnya akan menciptakan koefisien serap yang baik untuk bunyi berfrekuensi

rendah. Perletakan korden yang terpasang lebih menempel/seolah menyatu dengan dinding adalah baik untuk menyerap bunyi frekuensi tinggi.

Gambar 5.48 Material lunak (porus) berupa spon dalam bentuk piramid untuk sekaligus berfungsi sebagai difuser.

Gambar 5.49 Material lunak (porus) berupa spon dengan permukaan model anyaman untuk difuser.

Gambar 5.50 Spon tipis mendatar yang banyak dijumpai di pasar dan dengan harga terjangkau digunakan sebagai penyelesaian plafon sebuah studio musik sederhana.

Gambar 5.51 Penyelesaian plafon ruangan dengan model foam semprot, menjadikan plafon terlapisi material porus. Gambar di kiri menunjukkan proses penyemprotan.

5.5.2 Material berpori/berlubang-lubang besar (perforasi)

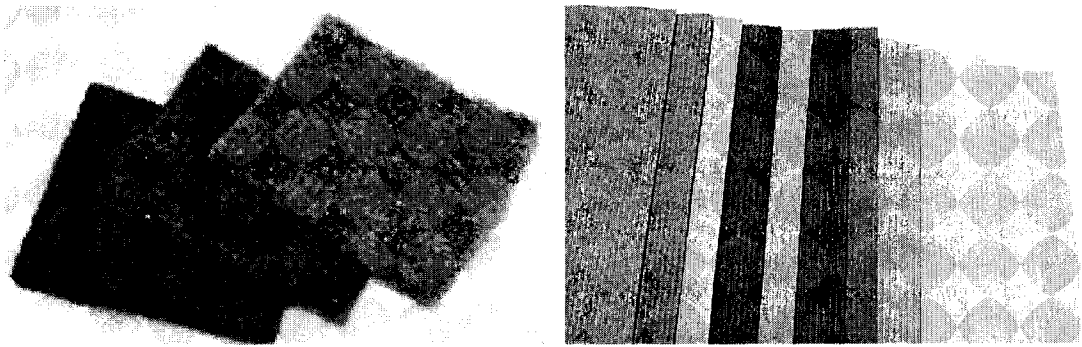
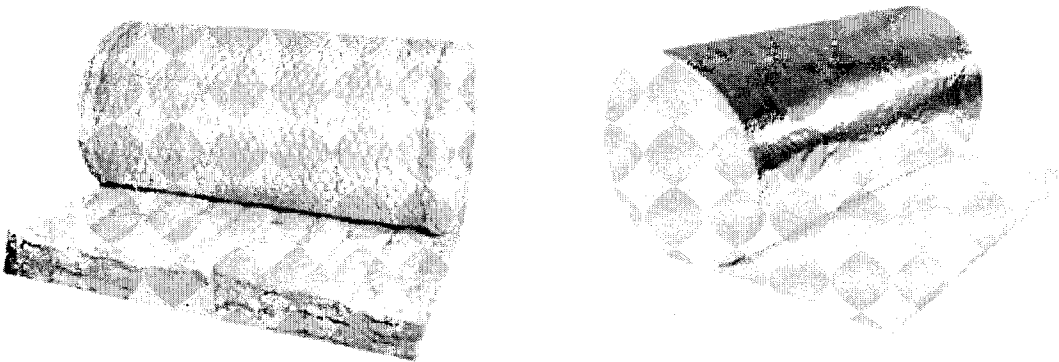
Sering dijumpai kesalahan definisi antara material porus (lunak berpori sangat halus, cenderung tidak kasat mata) dengan material berpori lebih besar atau berlubang-lubang. Material yang disebutkan kemudian tidak selalu terbuat dari bahan lunak dan lubang-lubang yang dimilikinya jauh lebih besar dan kasat mata. Material semacam ini menyerap dengan baik bunyi pada frekuensi 200 Hz s/d 2000 Hz. Sementara material porus menyerap baik pada frekuensi yang lebih tinggi.

Gambar 5.52 Material *softboard*(berbahan dasar bubur kayu) dengan penyelesaian perforasi acak dan pewarna putih.

Gambar 5.53 Papan kayu olahan dengan permukaan berperforasi kotak dan bulat.

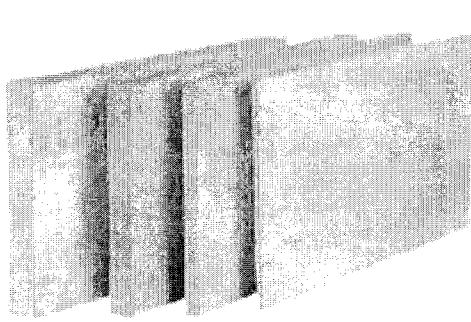
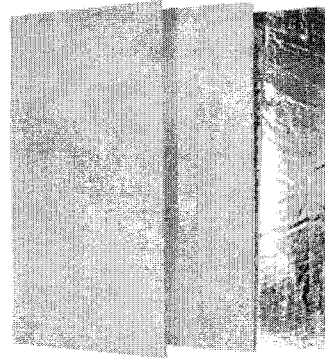
5.5.3 Material berserat

Penyerap jenis berserat adalah penyerap yang paling banyak dijumpai. Sebagai contoh jenis selimut *mineral wool* (*rockwool* atau *glasswool*). Penyerap jenis ini mampu menyerap bunyi dalam jangkauan frekuensi yang lebar dan lebih disukai karena tidak mudah terbakar. Namun kelemahannya terletak pada model permukaan yang berserat sehingga harus digunakan dengan hati-hati agar lapisan serat tidak rusak/cacat dan kemungkinan terlepasnya serat-serat halus ke udara karena usia pemakaian. Serat-serat halus yang berada dalam aliran udara dapat berbahaya bagi kesehatan. Penyerap dari bahan berserat dipasarkan dalam berbagai ketebalan dan kerapatan sehingga dapat dipilih yang paling sesuai dengan frekuensi bunyi yang hendak diserap. Sebagai gambaran umum, untuk menyerap bunyi berfrekuensi rendah diperlukan penyerap berserat dalam ketebalan yang lebih bila dibandingkan untuk menyerap suara berfrekuensi tinggi. Sebagai contoh, bila untuk suara berfrekuensi tinggi dibutuhkan ketebalan 3 mm, maka untuk frekuensi rendah dibutuhkan ketebalan 75 mm s/d 100 mm. Bila penyerap berserat yang tebal sulit diperoleh, maka sebagai gantinya dapat digunakan penyerap berserat yang lebih tipis dengan pemasangan berongga (tidak menempel langsung pada bidang batas). Lapiskan penyerap berserat dalam jarak 50 mm dari bidang batas permanen (misalnya dinding).

Berbagai macam material berserat yang dijumpai di pasar umumnya adalah *mineral wool* atau susunan benang-benang atau serat-serat dari mineral, baik alami maupun buatan. Adapun yang paling banyak digunakan adalah *glasswool* dan *rockwool*. Keduanya memiliki sifat yang hampir sama, kecuali material dasar penyusunnya. *Glasswool* dari mineral buatan (serat-serat kaca halus) sementara *rockwool* dari mineral alami. Secara fisik tampilan keduanya hampir sama, karena dijual baik dalam bentuk papan (*board*) maupun selimut (lembaran lunak). Serat-serat *rockwool* nampak lebih jelas dibanding *glasswool*. Keduanya jamak digunakan untuk peredaman, baik suhu maupun bunyi. *Rockwool* bekerja sampai pada suhu 650°C sementara *glasswool* sampai suhu 350°C. Ketahanan terhadap kelembaban *rockwool* hanya sampai 95%, sementara *glasswool* mencapai hampir 100%.

Karpet juga termasuk kelompok material berserat dengan kemampuan serap cukup baik, baik untuk meredam *impact sound* maupun sebagai material penyerap. Meski demikian, untuk karpet tipis yang diletakkan begitu saja di atas permukaan keras, kemampuan serapnya terhadap bunyi berfrekuensi rendah dan frekuensi sedang cukup kecil. Sebagai material yang cukup murah dan mudah diperoleh, karpet sangat jamak digunakan sebagai material penyerap, tidak hanya untuk lantai, namun juga untuk dinding. Pada bangunan atau ruangan dengan fungsi khusus yang menghindarkan tersebarnya serat karpet demi alasan kesehatan, seperti rumah sakit atau panti

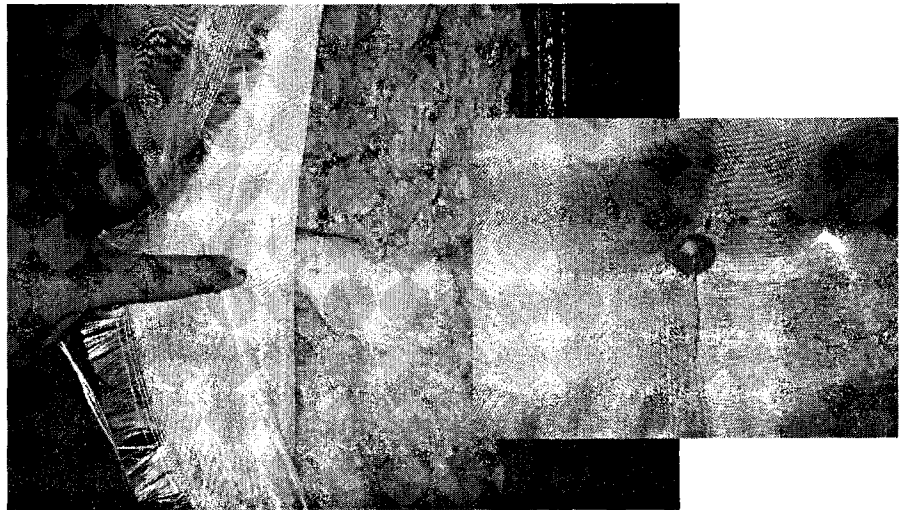
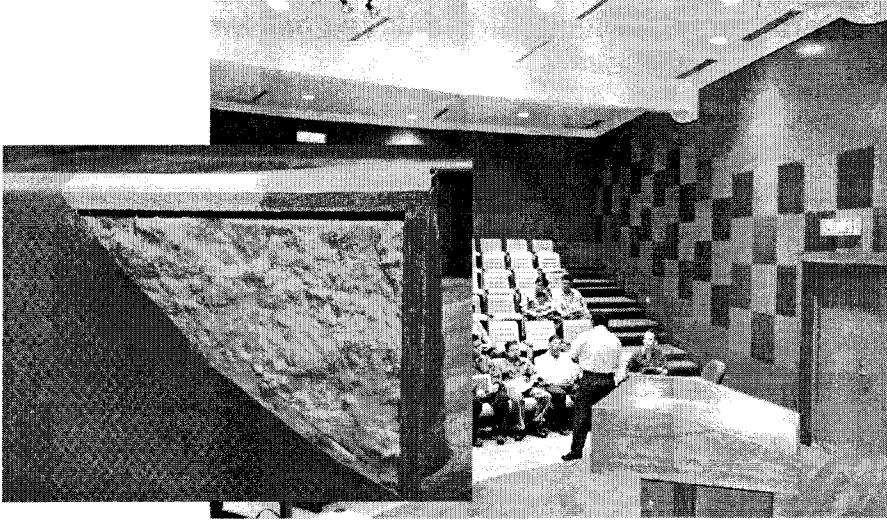
perawatan, material berbahan vinil dapat digunakan sebagai pengganti. Vinil masa kini bahkan dapat memiliki angka STC/redaman mencapai 27.

Gambar 5.54 Karpet adalah contoh material berserat, baik dengan permukaan yang berserat kasar, maupun yang cenderung halus.

(a) (b)

Gambar 5.55 Selimut akustik *rockwool*(a) dan *glasswool*(b)

(a)

(b)

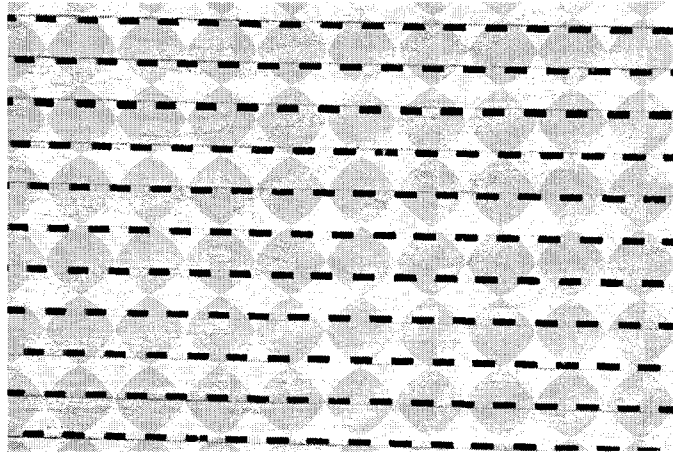
Gambar 5.56 Papan rockwool (a) dan glasswool (b).

Gambar 5.57 Korden termasuk material berserat. Pemasangan dengan model lipatan memberikan serapan lebih baik dibandingkan yang rata.

5.5.4 Material Berserat Dilapisi Membran Tidak Tembus (*Impervious*)

Penyerap jenis ini cocok digunakan pada keadaan lembab dan mudah terjadi karat sehingga sesuai untuk digunakan sebagai pelapis sekaligus penyerap bunyi pada saluran air atau udara yang mengeluarkan bebunyian yang mengganggu. Penyerap semacam ini juga sangat disarankan untuk digunakan pada keadaan di mana polusi udara sangat dihindari, seperti ruang perawatan di rumah sakit, laboratorium, dan tempat-tempat sejenis lainnya. Membran yang dilapiskan akan meningkatkan kemampuan lapisan serat dalam menyerap bunyi frekuensi rendah, namun menjadi kurang baik menyerap bunyi berfrekuensi tinggi bila dibanding bahan sejenis yang tidak dilapis membran.

Gambar 5.58 *Rockwool* dilapis *membran impervious* (membran dipasang dengan bantuan paku pengunci)

Gambar 5.59 Rangka kotak diisi *rockwool* dan ditutup membran berbentuk dasar kain yang selanjutnya diatur pada dinding ruangan sebagai penyerap.

5.5.5 Lapisan Serat Dilapis Panel Berpori

Selain pelapisan dengan membran *impervious*, material berserat juga dapat dilapis dengan panel tipis berpori-pori. Lapisan panel tipis ini akan melindungi serat yang ada di dalamnya. Panel yang dilapiskan dapat terbuat dari kain tebal, kayu, atau lembaran logam. Besaran dan jumlah pori pada panel harus dipertimbangkan secara cermat agar tidak mengubah kemampuan serap bahan berserat di dalamnya. Untuk panel pelapis yang tipis, lubang pori-pori sejumlah 15 % s/d 20% dianggap mencukupi. Sementara untuk panel pelapis yang lebih tebal, seperti bahan kayu, persentase lubang porinya harus lebih besar. Pada semua jenis dan ketebalan bahan panel, jika persentase lubang pori-porinya kurang dari 15% maka penyerap ini hanya akan mampu menyerap bunyi frekuensi rendah dengan baik, namun tidak untuk bunyi frekuensi tinggi.

Gambar 5.60 Lembaran berperforasi dari kayu olahan yang sering digunakan untuk melapisi material berserat.

5.5.6 Panel Penyerap

Penyerap model panel terdiri dari papan rigid seperti lembaran kayu, lembaran kayu lapis, atau material lain dalam bentuk lembaran yang dipasang dalam jarak tertentu (berongga) dari bidang batas permanen (misalnya dinding). Rongga yang terbentuk dapat hanya berisi udara atau ditambahkan penyerap berserat. Penyerap semacam ini bekerja efektif pada frekuensi dengan jangkauan amat sempit. Frekuensi yang sesuai dengan karakteristik panel dapat dihitung menggunakan persaman berikut:

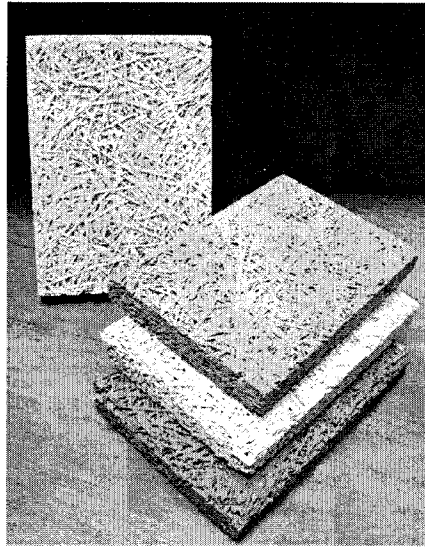
$$f = \frac{60}{\sqrt{md}} \qquad (4)$$

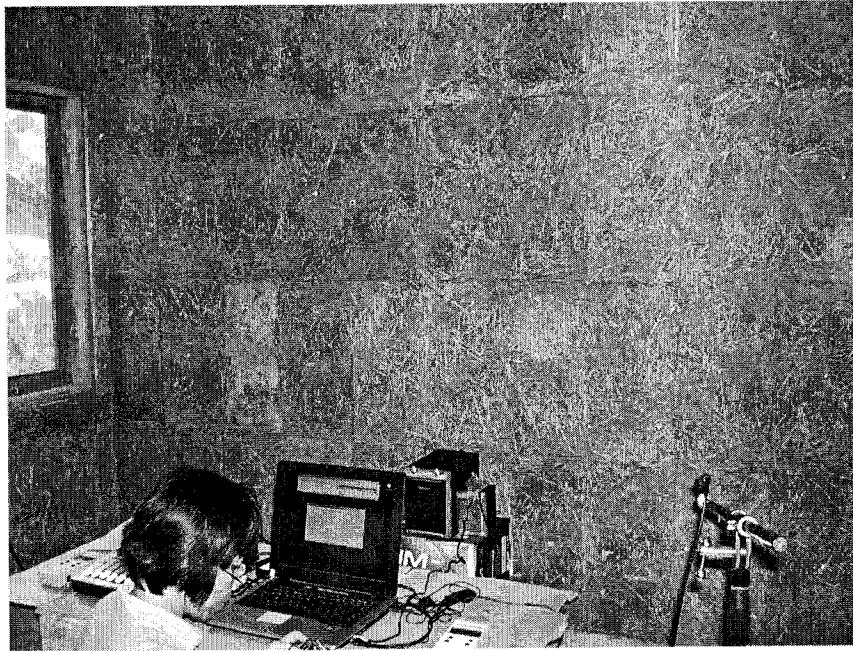
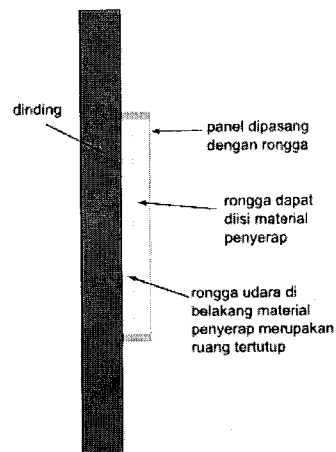
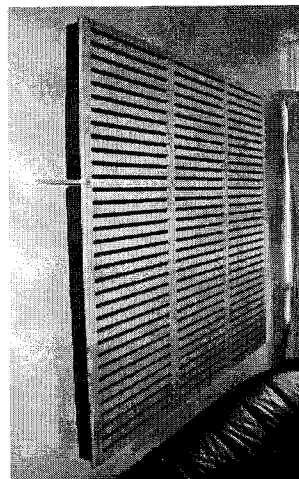
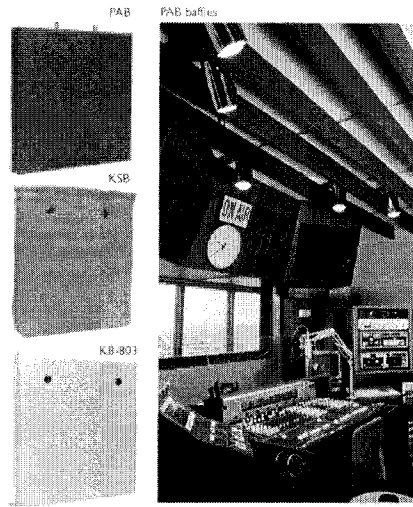
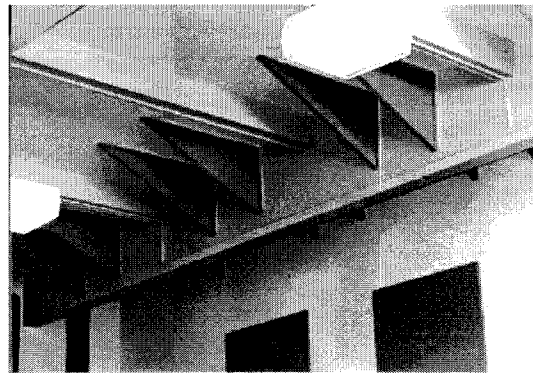
Dengan:

f adalah frekuensi material (Hz) (identik dengan frekuensi suara yang datang agar resonansi maksimal)

m adalah massa panel (kg/m^2)

d adalah jarak/*space* udara (m)

Jika rongga yang terbentuk terisi sepenuhnya dengan penyerap berserat, jangkauan frekuensi yang dapat diserap akan menyempit. Panel semacam ini cocok digunakan untuk menyerap bunyi berfrekuensi rendah. Panel ini dijual dalam modul-modul lembaran.

Gambar 5.61 Contoh panel dari material kayu dan semen produksi PT. Indo Yumen Board, Surabaya, biasa digunakan pada plafon.

Gambar 5.62 Panel berbahan dasar jerami, hasil penelitian pemanfaatan limbah pertanian, dapat digunakan pada dinding dan plafon, koefisien serap 0,4 (tebal 2 cm) dan 0,9 (tebal 3 cm) dan redaman 10 dB (tebal 2 cm) dan 16 dB (tebal 3 cm) (Mediastika, 2007).

Gambar 5.63 Penggunaan panel jerami pada dinding dapat memperbaiki RT pada 500 Hz dari 0,8 det (dinding bata plester kasar), menjadi 0,35 det dan 0,16 det (untuk tebal panel 2 cm dan 3 cm). Panel jerami dilapiskan di atas rangka kayu 2cm x3 cm (rongga 3 cm). Adapun dimensi ruang berkisar 25 m³ (Mediastika, 2007).

Gambar 5.64 Penambahan panel kayu yang berperforasi garis pada dinding permanen untuk meningkatkan penyerapan dan difusi.

Gambar 5.65 Contoh lembaran panel dalam modul tertentu dipasang pada plafon.

Gambar 5.66 Panel kayu segitiga yang ditempel tidak bebas pada tepi plafon ruangan.

5.5.7 Penyerap Model Resonator

Penyerap ini disebut juga penyerap berongga. Contoh yang paling mudah dikenal adalah Helmholtz resonator (sesuai nama penemunya). Penyerap berongga ini terdiri dari sebuah ruangan berisi udara yang dihubungkan oleh leher menuju ke permukaan bidang penyerap. Penyerap semacam ini digunakan untuk meningkatkan waktu dengung (RT) pada frekuensi tertentu (umumnya frekuensi rendah). Kekhususan frekuensi yang dapat dikontrol akan memudar jika bagian leher dilapisi material penyerap. Dengan melapisi bagian leher dan rongga

dengan material berpenyerap maka akan menghilangkan kemampuan model ini untuk meningkatkan RT, tetapi justru meningkatkan kemampuan model dalam menyerap jangkauan frekuensi yang lebih lebar. Penyerap model ini tidak umum digunakan. Hanya dipasang jika dibutuhkan pengontrolan pada jangkauan frekuensi yang sempit untuk menghasilkan RT yang panjang. Penyerap semacam ini sesuai untuk menyerap bunyi berfrekuensi amat rendah sampai 400 Hz/ 500 Hz (SAE College, Amsterdam, 1995). Meski demikian untuk menemukan frekuensi yang tepat dapat dihitung menggunakan persamaan sbb.:

$$f = 55\sqrt{\left(\frac{a}{dV}\right)} \qquad (5)$$

Dengan:

f adalah frekuensi material (Hz) (identik dengan frekuensi suara yang datang agar resonansi maksimal)

a adalah luasan area lubang (m^2)

d adalah kedalaman lubang (m)

V adalah volume rongga di belakang lubang (m^3)

Dengan menggunakan persamaan (5) akan ditemukan frekuensi efektif yang dapat diserap. Bila frekuensi diketahui maka faktor luasan lubang, panjang leher dan volume rongga resonator dapat ditentukan. Hal itu sangat bermanfaat untuk menyelesaikan terjadinya *flutter echoes* dalam ruangan yang disebabkan oleh dinding-dinding dan lantai - plafon yang saling paralel (Gambar 3.42). Bila dua bidang paralel diketahui jaraknya maka frekuensi bunyi di mana *flutter echoes* akan terjadi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

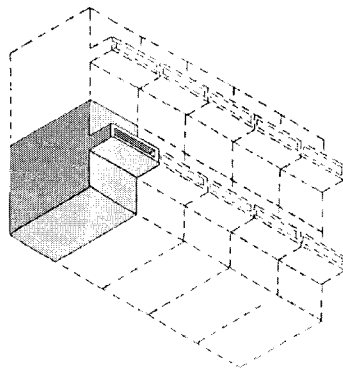
$$f = \frac{v}{2xd} \qquad (6)$$

Dengan

f adalah frekuensi dasar/utama (Hz)

v adalah kecepatan rambat bunyi (m/det)

d adalah jarak antar dua bidang paralel (m)

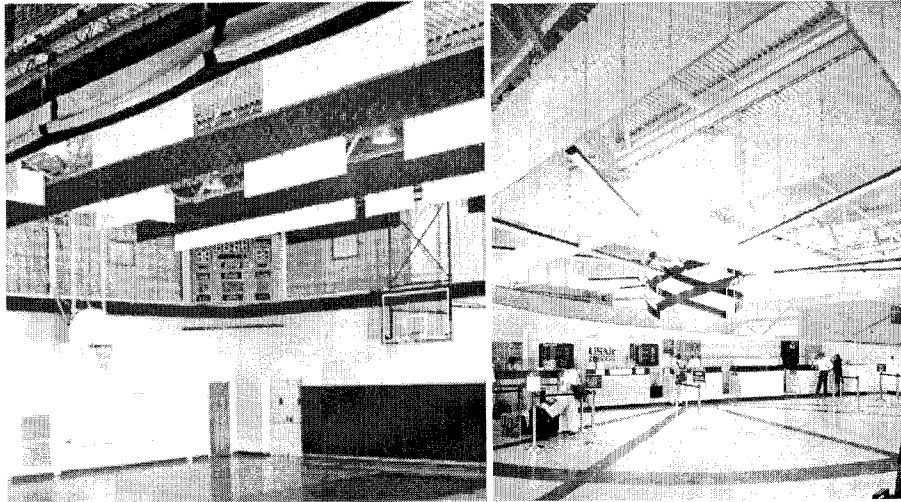
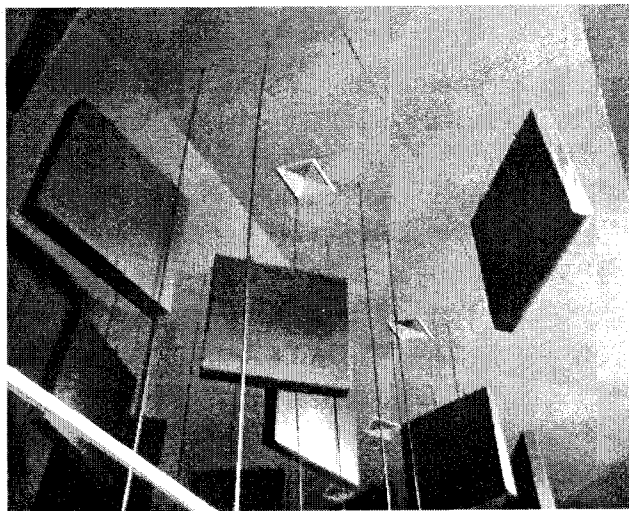
Flutter echoes di antara dua bidang paralel tidak hanya terjadi pada frekuensi dasar namun juga pada frekuensi kelipatannya. Sebagai contoh frekuensi dasar adalah 50 Hz, maka pada frekuensi 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, dst. juga akan terjadi *flutter echoes*. Meski demikian *flutter echoes* yang terjadi karena frekuensi kelipatan tidak separah pada frekuensi dasar, karena panjang gelombangnya yang makin kecil sehingga resonansi makin minim dan dapat diabaikan, terlebih ketika *flutter echoes* pada frekuensi dasar dapat diatasi. Persoalan *flutter echoes* diselesaikan menggunakan permukaan yang tidak persis paralel, memasang difuser atau *bass traps*. (Gambar 5.70)

Gambar 5.67 Pola dasar resonator bila dijajarkan menjadi multiresonator.

5.5.8 Multiresonator

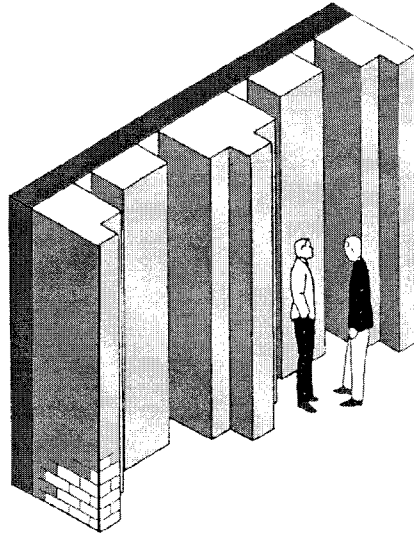
Selain dapat difungsikan sebagai resonator berongga yang bekerja secara tunggal, resonator sebagaimana dipaparkan sebelumnya juga dapat digabungkan secara berjajar sebagai multiresonator. Penyerap semacam ini identik dengan penyerap model lapisan serat yang dilapisi panel berperforasi, ketika area perforasi kurang dari 15%. Daya serap maksimalnya akan bekerja pada frekuensi tertentu sesuai besaran perforasi dan tebal rongga antara. Ketika rongga diisi dengan lapisan penyerap tambahan (misalnya material berserat), maka kemampuan maksimal pada frekuensi tertentu akan memudar dan dapat menyerap jangkauan frekuensi yang lebih lebar.

5.5.9 Penyerap Fungsional

Penyerap ini berbentuk lembaran bahan dan biasanya memiliki ukuran berkisar 1 m^2 dengan ketebalan 20 mm s/d 50 mm yang digantungkan secara bebas pada langit-langit ruangan.

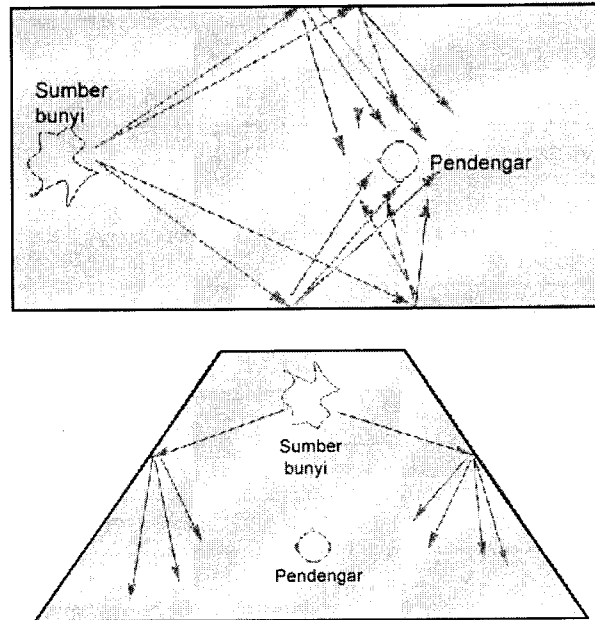
Penyerap ini biasanya terbuat dari *mineral wool* atau *fiberglass*. Penyerapan yang terjadi cukup maksimal karena dua sisi lembaran dapat bekerja bersamaan sebagai penyerap. Model semacam ini sangat efektif digunakan pada ruang-ruang besar yang menghasilkan kebisingan, seperti pabrik atau bengkel.

Gambar 5.68 Contoh penggunaan panel gantung berbahan porus pada plafon ruangan yang cukup tinggi sebagai elemen penyerap bunyi frekuensi rendah sekaligus tinggi.

Gambar 5.69 Contoh penggunaan panel yang digantung bebas di plafon sehingga gerakannya lebih bebas. Prinsip resonansi diterapkan maksimal.

5.5.10 Bass Traps

Pada dasarnya penyerap ini juga digunakan untuk mengendalikan bunyi-bunyi berfrekuensi sangat rendah atau yang dikenal sebagai bunyi *bass*. Kita umumnya menjumpai *bass trapps* sebagai bagian dari konstruksi ruangan oleh karena dimensinya yang amat besar.

Gambar 5.70 Contoh penggunaan *basstrapps*. Perhatikan dimensinya yang dapat menutup seluruh bagian dinding.

Meski terdapat banyak pilihan material dengan kemampuan serap tertentu namun beberapa penelitian menunjukkan bahwa kualitas bebunyian di dalam ruang yang rusak oleh pemantulan tidak cukup hanya diperbaiki dengan memasang bahan penyerap atau bahan yang memantulkan secara difus. Dipercaya bahwa yang terbaik adalah dengan menggunakan campuran antara pemantulan difus, penyerapan dan pengontrolan bunyi frekuensi rendah yang cenderung membawa getaran bersamanya. Ruang dengan kualitas akustik yang baik ditentukan oleh 3 aspek, yaitu penyerapan, pemantulan difus dan pengontolan transmisi bunyi.

Ruangan berbentuk kotak dengan perbandingan dimensi tinggi : lebar : panjang adalah 2:3:5 akan menjadikan ruangan amat sesuai untuk kegiatan konser musik, karena dinding sepanjang ruangan memberikan pantulan yang optimal ke arah belakang, sementara dinding belakang diselesaikan dengan penyerap untuk menghindari terjadinya gema. Namun ruangan berbentuk kotak tidak dapat menciptakan visualisasi yang baik dari semua titik ke arah panggung. Untuk mengatasi hal ini dapat dipilih ruangan berbentuk kipas atau tapal kuda. Pada ruangan ini pandangan ke arah panggung menjadi lebih baik dan lebih banyak orang dapat mendengarkan

bunyi langsung dari panggung. Meski demikian kualitas akustik pada ruang ini sedikit lebih rendah dari ruangan berbentuk kotak.

Gambar 5.71 Alur pemantulan pada ruang berbentuk kotak dan kipas

Di dalam ruang–ruang yang telah mengalami penyelesaian akustik akan tercipta beberapa area yang dapat diklasifikasikan menjadi:

1. *Free field,* yaitu area di dalam ruang yang tidak memperoleh pengaruh sama sekali dari efek pemantulan oleh bidang-bidang pembatas ruang. Ruang tanpa pemantulan sama sekali atau yang disebut *anechoic chamber* dikategorikan sebagai *free field.*

2. *Diffuse/reverberant field,* yaitu ruang dengan kemampuan pantul secara difus yang diciptakan oleh elemen pembatas ruang. Di dalam ruang semacam ini beberapa waktu setelah sumber bunyi dihentikan, akan tercipta tingkat keras bunyi yang sama dan merata ke seluruh posisi di dalam ruangan. Untuk menciptakan ruang semacam ini, keberadaan elemen penyerap sama sekali tidak dibutuhkan.

3. *Semi reverberant field,* yaitu ruang dengan tingkat pemantulan dan penyerapan terjadi secara bersamaan. Keadaan ini banyak dijumpai pada ruang-ruang yang dirancang secara estetis yang sekaligus harus memiliki kualitas akustik yang baik.

Tabel 5.4 Koefisien serap beberapa material bangunan yang banyak digunakan di Indonesia

Material bangunan	Koefisien Serap pada frekuensi 500 Hz *
Lantai:	
Semen	0,015
Semen dilapis keramik	0,01
Semen dilapis karpet tipis	0,05
Semen dilapis karpet tebal	0,14
Semen dilapis kayu	0,10
Dinding:	
Batu bata diplester halus	0,02
Batu bata dipelster kasar	0,01
Batu bata ekspose	0,06
Papan kayu	0,10
Kolom beton dicat	0,04
Kolom beton tidak dicat	0,06
Tirai kain tipis/ sedang/ tebal	0,11/ 0,49/ 0,55
Kaca halus	0,01
Kaca kasar/buram	0,04
Plafon:	
Beton dak	0,015
Eternit	0,17
Gipsum	0,05
Alumunium	0,01

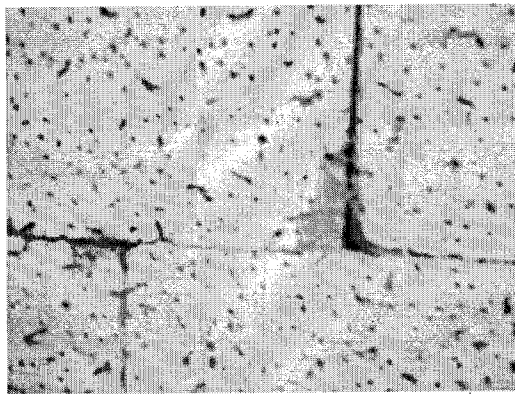
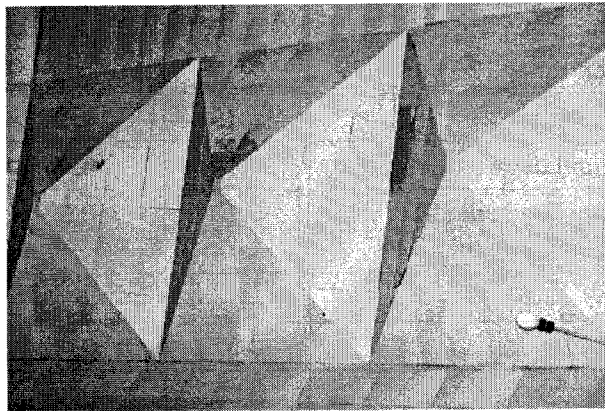
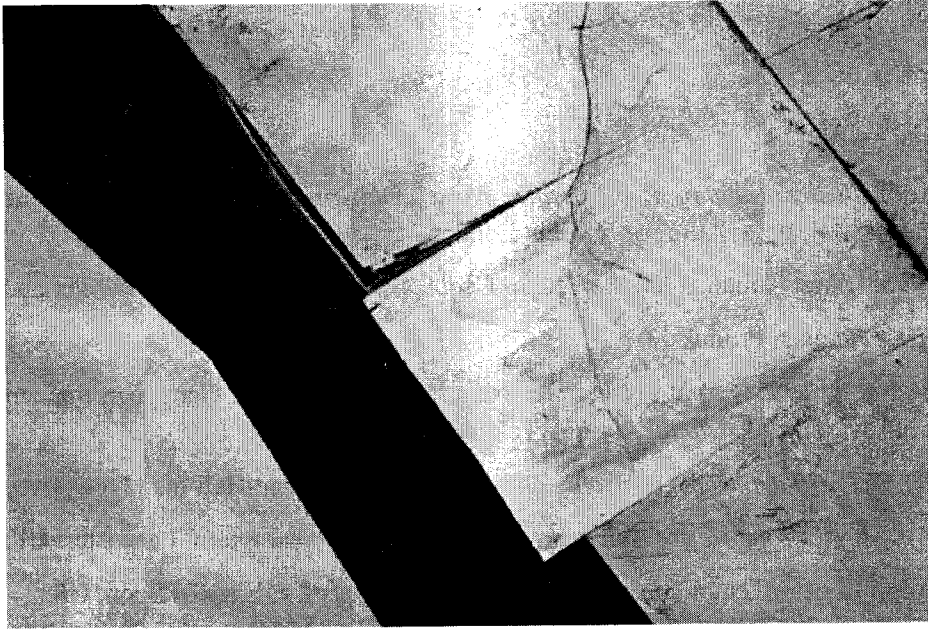
Material bangunan	Koefisien Serap pada frekuensi 500 Hz *
Furnitur, dll:	
Kursi kain	0,60
Kursi plastik	0,01
Udara	0,007 **
Manusia	0,46

*) Frekuensi 500 Hz dipakai sebagai rerata koefisien serap material pada umumnya
**) Khusus udara dihitung pada frekuensi 2000 Hz

Tabel 5.5 Koefisien serap beberapa material bangunan pada beberapa frekuensi yang berbeda

Material	Spesifikasi	Koefisien Serap pada Frekuensi		
		250 Hz	500 Hz	1000 Hz
Beton		0,02	0,02	0,05
Karpet tebal		0,10	0,50	0,60
Korden	Dengan garis lipatan	0,10	0,40	0,50
	Rata /tanpa lipatan	0,05	0,10	0,20
Fiberglas	Diatas spesi 25 mm	0,10	0,50	0,70
Hardboard	Diatas rangka dengan rongga 25 mm	0,20	0,15	0,10
Papan kayu	Untuk lantai	0,15	0,10	0,10
Serat kayu	Ditempel pada dinding solid	0,10	0,40	0,60
	Ditempel pada dinding dengan rongga udara	0,10	0,60	0,60
Udara	Per m3			0,007
Orang	Per orang	0,21	0,46	0,51
Kursi	Kosong dari kain	0,12	0,28	0,28
	Kosong dari besi	0,07	0,15	0,18
Kaca	Tebal 4 mm untuk jendela	0,30	0,10	0,07

5.5.11 Pemeliharaan

Material dengan kemampuan serap untuk berbagai macam karakteristik penyerapan umumnya tersusun dari material lebih lunak bila dibandingkan material untuk kepentingan pemantulan, atau material untuk struktur bangunan. Sifat lunak material semacam ini perlu mendapat perlakuan khusus dan hati-hati, baik pada saat pemasangan maupun pemeliharaan. Kehati-hatian diperlukan karena material ini memiliki sifat mudah rusak/hancur. Pemasangan material lunak juga harus menghindarkan posisi-posisi dengan tingkat kelembaban yang tinggi, karena dapat berjamur dan timbul bercak yang akan mengurangi keindahannya.

Gambar 5.72 Kerusakan pada panel berbahan dasar kertas: mudah hancur, terutama pada sudut panel.

Gambar 5.73 Karena material penyerap umumnya lunak, tidak tahan terhadap kelembaban, maka dapat bernoda/timbul bercak.

Gambar 5.74 Penyerap dari material berlapis dapat terkelupas oleh kelembaban yang tinggi.

PUSTAKA

----------. 1975. *Calculation of Road Traffic Noise*. Department of the Environment Welsh Office. Her Majesty's Stationery Office: London.

----------. 1995. Diktat Kuliah, *School of Audio Engineering*, Amsterdam: The Netherlands.

Acoustic First, Panduan Produk

Agustian, Ratna A. 1995. "Anatomi Fisiologi dan Pemeriksaan pada Gangguan Pendengaran". *Proceeding Seminar Nasional Akustik*. Teknik Fisika: ITB.

Egan, M. David. 1976. *Concepts in Architectural Acoustic*. Prentice-Hall Inc.: New-Jersey.

Eldridge, H.J. 1974. *Properties of Building Materials*. MTP Construction, Lancaster: UK.

Lord, Peter dan Duncan Templeton. 1996. *Detailing for Acoustics*. E & FN Spon, UK.

Kinsler, Lawrence E, et.al. 1982. *Fundamentals of Acoustics*. John Wiley and Sons: Canada.

McMullan, Randal. 1991. *Noise Control in Buildings*. BSP Professional Books, UK.

McMullan, Randal. 1992. *Environmental Science in Building*, MacMillan, UK.

Medastika, Christina E. 2005. *Akustika Bangunan*. Erlangga: Indonesia.

Medastika, Christina E. 2005. *Menuju Rumah Ideal: Nyaman dan Sehat*. Penerbit UAJY: Indonesia.

Medastika, Christina E. 2007. *Laporan Penelitian Hibah Bersaing tahun II*. DIKTI, Depdikbud: Indonesia.

Nilsson, P.O.L 1990. "Noise Induced Hearing Loss", *Proceedings of the 5th International Congress on Noise as a Public Health Problem*. Volume 4, Sv· dish Council for Building Research: Stockholm.

Templeton, Duncan dan David Saunders. 1987. *Acoustic Design*. The Architectural Press London: UK.

Trisna. Bulan, dkk,1995. Evaluation of Hearing Conservation Praogrammes in Industrial Plants Around Jakarta Area. *Proceeding Seminar Nasional Akustik*. Teknik Fisika: ITB.